

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



“OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO PARA F´C 550KG/CM2, UTILIZANDO CENIZAS DE CARBON Y ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTE Y RETARDANTE DE FRAGUA”

**Tesis presentada por:
Bachiller Fernando Aron de la Cruz Mendoza**

Para optar el Titulo de: INGENIERO CIVIL

AREQUIPA – PERU

2015

DEDICATORIA

EL PRESENTE TRABAJO ES UN
ESFUERZO DEDICADO A MI MADRE
ELY POR SUS CONSEJOS Y SU
CONSTANTE APOYO, A MIS
HERMANOS Y PADRE, A TODAS MIS
AMISTADES POR LOS GRATOS
MOMENTOS DE ALEGRIA.



AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por darme la oportunidad de cumplir mis metas, a mi familia y personas que me dieron su constante apoyo.
- A mi alma máter Universidad Católica de Santa María
- A mis profesores, a mi asesor Ing. Olger Febres Rosado, Ing. Héctor Novoa, Ing. Renato Díaz Galdós, Ing. Alejandro Hidalgo Valdivia, por la formación recibida a lo largo de mi carrera y poder lograr ser un profesional dedicado.
- A mi colegio “Salesianos Don Bosco”, por los valores inculcados y permitirme ser un buen ciudadano.

A LA EMPRESA:

CONCRETOS SUPERMIX S.A.

Ing. Jaime Vela Rivera.

Ing. Carlos Guerra Cisneros.

Sr. Rene Vera Castañeda.

A LOS INGENIEROS

Ing. Christian Vera - Key Account Manager - TM Concrete – SIKA PERU S.A.

Ing. Francisco Escuadra – Asesor de Negocios Concrete – SIKA PERU S.A.

RESUMEN

En la presente investigación se busca conocer y difundir mayor información sobre las propiedades de las adiciones en las mezclas de concreto, para lo cual se hizo uso de cenizas de carbón provenientes de la Empresa Papelera Trupal S.A. y mediante ensayos de laboratorio estudiar requerimientos, variaciones en sus propiedades y control de calidad.

El cual se desarrolló para condiciones climáticas de la ciudad de Arequipa empleando agregados y agua de la zona, así mismo se buscó emplear aditivos que permitieron mejorar y controlar las propiedades del concreto en estado fresco. Uno de los factores a considerar para desarrollar concretos de Alto desempeño, es su elevado consumo de Cemento en las mezclas, es por ello el interés de optimizar estas cantidades sin descuidar su resistencia a la compresión, empleando un cementante como adición (cenizas de carbón).

La investigación se desarrolló en los laboratorios de Control de Calidad de la empresa Concretos Supermix S.A. con la finalidad realizar un mejor control en su calidad, empleando equipos electromecánicos necesarios para el estudio. Al realizar la investigación se tendrá mayor información específica, la cual servirá como guía para desarrollar proyectos que busquen emplear este tipo de adición.

Finalizado el trabajo se obtuvo buenos resultados en los ensayos llegando a la conclusión que la ceniza de carbón puede ser utilizado como una adición en la elaboración de concretos de Alto Desempeño, en un porcentaje de 10% a 15% de la cantidad de Cemento en la mezcla.

ABSTRACT

In the present investigation seeks to publicize and disseminate more information on the properties of additions in concrete mixtures for which use was made of coal ash from Trupal Bin Company SA and by laboratory tests to study requirements, variations in properties and quality control.

Which was developed to weather conditions in the city of Arequipa using aggregates and water in the area, also they will be allowed out to use additives that improve and control the properties of the fresh concrete. One of the factors to consider in developing high-performance concrete is its high consumption of cement in the mix, which is why the interest to optimize these amounts without neglecting its compressive strength using a cementing as an addition (coal ash)

The research was conducted in laboratories Quality Control Company Concrete Supermix S.A. in order to make a better quality control using electromechanical equipment needed for the study. In conducting the investigation will have more specific information, which will serve as a guide to develop projects that seek to use this type of addition.

It ended working good results obtained in the tests and concluded that coal ash can be used as an addition in developing specific High Performance in a percentage of 10% to 15% of the amount of cement in the mixture.

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material que ha tenido mayor uso en la construcción de edificios e infraestructura a lo largo de los últimos años, a causa de esto en la industria de la construcción se busca mejorar las cualidades del concreto, ya sea su resistencia, durabilidad, trabajabilidad; en una síntesis concretos de alto desempeño, si bien es cierto estas cualidades incrementarían su costo de producción, pero al contar con insumos que podrían ser adicionados al material cementante reducirían tal costo contribuyendo con la preservación medioambiental.

Al adicionar materiales cementantes alternativos al cemento portland, se busca que aporten nuevas cualidades al concreto a la vez que contribuyan al ahorro energético y la disminución de la emisión de contaminantes, que se suscitan en la producción del cemento portland.

En la historia de la civilización, la industria de la construcción se ha preocupado en buscar la forma de producir concretos con mejores desempeños, tanto técnicos como económicos, y en los últimos tiempos, ecológicos. Esto ha hecho que se mire a la búsqueda de materiales cementantes alternativos al cemento portland que aporten nuevas cualidades al concreto a la vez que contribuyan al ahorro energético y a la disminución de la emisión de contaminantes, propias de la producción del cemento portland.

Uno de los materiales que se ha estudiado como cementante complementario del cemento portland es la ceniza de carbón, un

subproducto de la combustión del carbón en centrales carboelectricas, que tradicionalmente se ha considerado como desperdicio, por lo que su eliminación genera costos adicionales. Este material de desperdicio ocupa grandes áreas superficiales, por lo que se debe eliminar en vertederos, provocando un impacto negativo.

Estudios realizados han demostrado que la inclusión de la ceniza de carbón o ceniza volante mejora la durabilidad de la mezclas de concreto debido a las características de sus partículas, y que con un adecuado diseño de mezclas y proporción de reemplazo del cemento portland se pueden llegar a tener resistencias mecánicas comparables a las de un concreto convencional con solo cemento portland como cementante. El reemplazar parte del cemento por ceniza de carbón en las mezclas de concreto conlleva un beneficio económico, por ser la ceniza un material más barato que el cemento y también por que disminuyen los gastos de eliminación de la ceniza.

ÍNDICE

	PÁGINA
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	4
INTRODUCCION	6
CAPITULO I	15
1.1. Descripción del Problema	15
1.2. Desarrollo de la Problemática	15
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo General	17
1.3.2. Objetivo Específico	17
1.4. Hipótesis	18
1.5. Justificación	18
1.6. Alcance	19
1.7. Variables e indicadores	20
1.7.1. Variable dependiente	20
1.7.2. Variable Independiente	20
CAPITULO II	22
DESCRIPCION TEORICA	
2.1. Utilización de cenizas volantes	22
2.1.1. Origen del Carbón	23
2.1.2. Componentes del Carbón	24
2.1.2.1. Propiedades	24
2.1.3. Actividad Puzolánica	25
2.1.3.1. Puzolanas	26

2.1.3.2. Cenizas Volcánicas.....	26
2.1.3.3. Tufos o tobas volcánicas.....	26
2.1.4. Adiciones minerales.....	27
2.1.4.1. Cenizas volantes.....	27
2.1.4.2. Microsílice (sílice fume).....	28
2.1.4.3. Escoria de altos hornos.....	28
2.1.5. Ventajas de las adiciones	29
2.1.5.1. Concreto Fresco.....	30
2.1.5.2. Concreto Endurecido	30
2.2. Durabilidad del concreto.....	31
2.2.1. Reacción álcali - agregado	32
2.2.2. Requerimiento para la mezcla de	33
La reacción álcali - sílice	
2.3. Materiales constituyentes del diseño de mezcla	33
2.3.1. Agua de diseño.....	33
2.3.1.1. Calidad del agua	33
2.3.1.2. Agua para mezclas	34
2.3.1.3. Agua para curado.....	36
2.3.1.4. Pruebas al agua	36
2.3.2. Cemento	37
2.3.2.1. Cemento portland.....	37
2.3.2.2. Tipos de cemento portland.....	40
2.3.3. Agregados	43
2.3.3.1. Descripción	43
2.3.3.2. Propiedades Físicas de los agregados	43
2.3.3.3. Agregado fino.....	46
2.3.3.4. Agregado grueso.....	47
2.3.4. Cenizas de Carbón	48

2.3.4.1. Clasificación	49
2.3.4.2. Propiedades de la Ceniza de Carbón	51
2.3.4.3. Ventajas de la utilización de Cenizas de carbón.....	54
2.3.4.4. Beneficios de la Cenizas de Carbón en el Concreto fresco.....	54
2.3.4.5. Beneficios de la Cenizas de Carbón en el Concreto endurecido.....	55
2.3.4.6. Aplicación de las Cenizas de Carbón en el Mundo	57
2.3.4.7. Cenizas de Carbón Empleadas.....	60
2.3.5. Aditivos	61
2.3.5.1. Clasificación	63
2.3.5.2. Aditivo Reductor de Agua Viscocrete 1110	63
2.3.5.3. Aditivo Retardante de fragua Plastiment TM 12	65
CAPITULO III.....	67
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO Y ENSAYOS APLICADOS AL CONCRETO	
3.1. Ensayos al concreto en estado fresco	67
3.1.1. Asentamiento.....	67
3.1.2. Temperatura	68
3.1.3. Peso unitario.....	69
3.1.4. Rendimiento	69
3.1.5. Contenido de Aire	70
3.1.6. Tiempo de Fragua	70
3.2. Ensayos al concreto en estado endurecido	71

3.2.1. Resistencia a la Compresión	71
3.2.2. Contracción por Secado	73
3.2.3. Resistencia a Flexión.....	74
3.3. Análisis físicos de los Agregados	74
3.3.1. Agregados	74
3.3.1.1. Agregado Fino.....	75
3.3.1.1.1. Peso unitario suelto y compactado.....	75
3.3.1.1.2. Peso Específico	77
3.3.1.1.3. Absorción.....	78
3.3.1.1.4. Humedad	79
3.3.1.1.5. Granulometría del Agregado fino	80
3.3.1.2. Agregado grueso.....	82
3.3.1.2.1. Peso unitario suelto y compactado.....	82
3.3.1.2.2. Peso específico	83
3.3.1.2.3. Absorción.....	84
3.3.1.2.4. Humedad	85
3.3.1.2.5. Granulometría del agregado grueso	86
3.3.1.3. Máxima compactación de los agregados.....	87
3.4. Pasos para la dosificación de la mezcla	90
3.4.1. Método de diseño	91
3.4.1.1. Consideraciones del Diseño de Mezcla	91
3.4.2. Especificación de Diseño.....	93

3.4.3. Secuencia de Diseño de Mezcla.....	97
3.5. Presentación de Diseños Elaborados	102
3.6. Selección de Diseño Óptimo	111
CAPITULO IV	113
PRESENTACION DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ELABORADOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO	
4.1. Elaboración y resultados de los	
ensayos al concreto en estado fresco	114
4.1.1. Asentamiento	114
4.1.2. Temperatura del Concreto	118
4.1.3. Contenido de Aire y Peso Unitario	122
4.1.4. Tiempo de Fragua	127
4.2. Elaboración y resultados de los	
ensayos al Concreto en Estado Endurecido	141
4.2.1. Resistencia a Flexión	141
4.2.2. Contracción del Concreto	143
4.2.3. Resistencia a la Compresión	151
4.2.3.1. Diseño optimo $f'c = 550 \text{ kg/cm}^2$	156
4.2.3.2. Diseño con Ceniza de Carbón 10%	157
4.2.3.3. Diseño con Ceniza de Carbón 15%	158
4.2.3.4. Diseño con Ceniza de Carbón 20%	159
4.2.3.5. Diseño con Ceniza de Carbón 25%	160
4.2.3.6. Comparación y Variación de las resistencias a la Compresión	161
4.2.4. Control Estadístico de la Resistencia a la Compresión	164
4.3. Costo - Beneficio	183

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	194
BIBLIOGRAFIA	198
INDICE DE TABLAS	199
INDICE DE CUADROS	200
INDICE DE GRAFICOS	203
INDICE DE FIGURAS	207
ANEXOS	208



CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Poca investigación en la optimización de las cantidades de cemento portland tipo I en los diseños de mezcla, para poder desarrollar un concreto de alto desempeño con una resistencia a la compresión de 550kg/cm^2 , empleando cenizas de carbón y aditivos superplastificante y retardante de fragua, en la ciudad de Arequipa.

1.2. DESARROLLO DE LA PROBLEMÁTICA

La construcción una de las ramas más apreciadas en el ámbito de la ingeniería civil, en la cual se enfoca en dar soluciones a distintos problemas que se dan en nuestro entorno, propone considerar un desecho la cual por sus propiedades y composición actúa como un aglomerante que al tener partículas más finas que el cemento le otorga mejoras en la trabajabilidad, reduciendo la cantidad de agua que un concreto convencional, siendo una ventaja para elaborar concretos de resistencia elevada a un menor precio y al ser un desperdicio industrial su uso en el concreto sería una manera de utilizar este subproducto, reutilizándola en el uso de la elaboración de concretos, y mediante la realización de ensayos de laboratorio, estudiar su comportamiento en

las propiedades mecánicas del concreto, ya que al contar con previos estudios desarrollados de las cenizas, le otorgarían al concreto mayor durabilidad. Dicho material proveniente de la generación de energía a partir de la combustión de carbón de la empresa papelera TRUPAL S.A. se encuentra acumulada en cantidades considerables la cual podría ser viable para este fin de empleo.

Este material conocido y estudiado en otros países como Estados Unidos, España, Holanda, etc. En los que se ha obtenido buenos resultados mejorando la resistencia de un diseño patrón, por consecuente sería un tema innovador para nuestro entorno aportando en los avances de la investigación y desarrollo de la tecnología del concreto en un bien de la ingeniería.

El problema del desarrollo en el rubro de la construcción donde se encuentran estructuras que requieren una resistencia superior a las convencionales es que para alcanzar dicha resistencia a la compresión, se emplea mayor cantidad de cemento aumentando su costo de elaboración, sin embargo tomando como referencia estos estudios realizados, y con esta investigación se demostraría que el empleo de cenizas de carbón (ceniza volante) permiten reducir una porción del cemento, adicionándole un porcentaje extra en su resistencia mecánica lo cual es el tema a tratar en la siguiente investigación.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Optimizar la cantidad de cemento portland tipo I en los diseños de mezcla de concreto de alto desempeño para una resistencia de 550 kg/cm² con una relación a/c = 0.40, adicionando cenizas de carbón y aditivos superplastificante y retardante de fragua.

1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICOS

- Empleando criterios del Método ACI y bajo la máxima compactación de los agregados por el ensayo de Peso unitario Compactado de Agregado Global, realizar diseños de mezcla para la investigación.
- Establecer un diseño óptimo con la incorporación de aditivos evitando su descomposición (segregación), para la resistencia requerida.
- Comparar las cantidades de insumos de mezclas con aditivos y sin aditivos
- Elaborar probetas con ceniza de carbón adicionado (10, 15, 20 y 25%) y probetas con cemento portland tipo I.
- Encontrar el porcentaje óptimo de sustitución del cemento por ceniza de carbón, mediante su resistencia a la compresión a distintas edades (3, 7, 28) días.

- Comparar las propiedades mecánicas mediante ensayos de laboratorio (Flexión, Tiempo de Fraguado, Contracción del concreto, Compresión Axial) de concreto adicionado con ceniza de carbón y concreto convencional con cemento portland tipo I.

1.4. HIPOTESIS

Es posible reducir las cantidades de cemento en los diseños de mezcla elaborados por el método propuesto, para una resistencia mínima de 550kg/cm², empleando ceniza de carbón y aditivos superplastificante y retardante de fragua, mejorando sus propiedades mecánicas.

1.5. JUSTIFICACION

En el Perú la investigación científica y tecnológica sigue manteniéndose, según el último informe presentado por el foro Económico Mundial (WEF) en innovación ocupamos el puesto 61 de 144 países.

La investigación y desarrollo es lo que promueve la innovación, y esta a su vez permite la introducción de nuevos conceptos productivos - tecnológicos, de diseño o modelos que otorgan valor agregado a las actividades productivas.

Es por ello que esta tesis se inclina por la innovación, desarrollando una investigación en la cual se analizará el comportamiento de estos residuos industriales (ceniza de carbón) generados por una transformación de energía, aplicados en la tecnología de concreto con los cuales se ensayaran los distintos diseños, lo que permitirá conocer sus propiedades en el concreto.

1.6. ALCANCE

El alcance para la siguiente investigación comprende desde la elaboración y validación del diseños de mezcla del concreto utilizando agregados de la cantera la Poderosa: diseño Optimo y diseño con la adición de distintos porcentajes de ceniza de carbón(10, 15, 20, 25%), hasta la elaboración y análisis de los resultados de las propiedades mecánicas del concreto con adición de ceniza de carbón; tomando en consideración la selección de los materiales, ensayos de las propiedades físicas, determinación de la clase de ceniza, elaboración del diseño de mezclas considerando la incorporación de aditivos de la marca SIKKA, ensayos y análisis del concreto en estado fresco y endurecido así también el procesamiento y evaluación de los resultados obtenidos.

Por lo que no comprende la evaluación de las propiedades físico químicas de la ceniza de carbón.

Las cenizas de carbón provienen de la empresa papelera TRUPAL S.A.
ubicada en la provincia de la Libertad.

1.7. VARIABLES E INDICADORES

1.7.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes (resultados), para este estudio son:
ensayos de laboratorio al concreto en estado fresco (asentamiento, temperatura del concreto, tiempo de fraguado, contenido de aire, peso unitario) y endurecido (resistencia a la compresión 3, 7, 28; contracción del concreto, flexión por vigas), alta concentración de cemento en concretos de alto desempeño.

1.7.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes (causas), para este estudio son **el cemento, los diseños de mezclas, agregados, aditivos y método de diseño.**

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN TEORICA.



CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. UTILIZACIÓN DE CENIZAS VOLANTES

A consecuencia de la industria del país, día a día se genera residuos minerales que podrían ser reutilizados en diversos procesos; un residuo que ha sido tema de estudio en diversos países es la ceniza volante, el cual es generado en plantas termoeléctricas cuyo combustible es el carbón.

Su proceso empieza con la calefacción y la desvolatilización de las partículas de carbones calcinados, para la mayoría de partículas pulverizadas se presenta una estructura frágil, lo que permite la incorporación de algunos minerales. El calor de las inclusiones de la ceniza fundida tiende a fusionarse junto con una vaporización apreciable de la combustión del material ya quemado, esta aglomeración ocurre en el último 25% de combustión del carbón.

Activadas con ciertos álcalis y mezclados con cemento se han logrado productos finales con resistencias mecánicas de 60 MPa, casi 60% mayor que la de los concretos normales. La calidad de este cementante depende de contenido de sílice amorfa la cual es fácilmente activada con un material alcalino. También se demuestra que, es el contenido de sílice amorfa lo que da la calidad cementante a la ceniza.

Las cenizas también han sido ensayadas para observar propiedades de morteros en los cuales se ha obtenido buenos resultados frente a los sulfatos.

2.1.1. ORIGEN DEL CARBÓN

El origen del carbón proviene de restos de vegetación formados en tiempos geológicos, originalmente se acumularon como plantas en pantanos o fueron depositados en lagunas. La acumulación de limos y otros sedimentos, junto con movimientos en la corteza terrestre sumergieron estos pantanos, en algunos casos a una gran profundidad. A medida que iban quedando enterradas, las plantas fueron sometidas a elevadas temperaturas y presiones, las cuales causaron cambios físicos y químicos en la vegetación, transformándolas, con el correr de los tiempos en carbón. A medida que este proceso fue ocurriendo, una serie de cambios físicos y químicos causaron una modificación en la estructura del carbón, volviéndola más dura, estado con el cual se le conoce como carbón duro o bituminoso, en temperaturas y presiones adecuadas, el carbón alcanza un punto de madurez orgánica que finalmente forma la antracita.

Los grandes depósitos de carbón solo comenzaron a formarse después de la evolución de las plantas en el periodo Devónico, hace 400 millones de años, En el periodo carbonífero (350 a 280 millones de años) parte de los sedimentos se acumularon en el

Hemisferio Norte, en el periodo Permiano – Carbonífero en el Hemisferio sur, al final del periodo Cretáceo gran parte también en el hemisferio sur.

2.1.2. COMPONENTES DEL CARBÓN

En un trozo de carbón, se puede encontrar masas heterogenias de un aspecto brillante y otra de un aspecto mate, ambas podrían encontrarse desligadas por pequeñas venas que pueden ser observadas a simple vista. Dentro de los componentes del carbón se encuentran el Vitreno que es la parte negra, brillante y quebradiza; Clarenos parte negra y brillante; Dureno que es el componente mate, gris y duro del carbón y el Fuseno parte polvorosa negra y blanda la cual es muy fácil de romper.

2.1.2.1. PROPIEDADES

- ✓ Energía Específica: También se conoce poder calorífico o energía térmica, simboliza la cantidad de calor que se libera en combustión completa por cada unidad de material quemado.
- ✓ Tamaño: El tamaño máximo de carbón suministrado a los pulverizadores suele ser entre 19 y 75 mm hasta un tamaño máximo de unos 75mm, los finos de carbón puede tener un tamaño inferior a los 3.35mm
- ✓ Humedad: Consta de humedad inherente y libre; la humedad inherente es la humedad combinada por los poros del carbón, la humedad libre sucede en la superficie del carbón

provocada por agua de la mina, la cual es generalmente eliminada por procesos de secado.

- ✓ Abrasividad: Está ligada directamente con la forma de desgaste de los pulverizadores
- ✓ Combustión: Es el proceso por el cual se obtiene CO₂, generando combustión de volátiles.

2.1.3. ACTIVIDAD PUZOLÁNICA

Se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana se puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción de Puzolana + Agua + Cal Silicatos y aluminatos de calcio hidratados.

La actividad Puzolánica está ligada a la naturaleza y proporción de las fases activas presentes en la puzolana (composición mineralógica), de la relación cal – puzolana de la mezcla, de la finura de la puzolana y de la temperatura de la reacción. Los productos de reacción puzolana/cal generalmente son del mismo tipo que los productos de hidratación del cemento portland.

La velocidad de hidratación del cemento es acelerada por la presencia de la ceniza de carbón durante muchas de las reacciones, pero puede ser retardada inicialmente.

2.1.3.1. PUZOLANAS

Según la norma ASTM C 618-01, las puzolanas son un material silíceo o sílico- aluminoso, que por sí mismo puede tener poca o ninguna actividad hidráulica pero que, finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

2.1.3.2. CENIZAS VOLCÁNICAS

Se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.

2.1.3.3. TUFOS O TOBAS VOLCÁNICAS (ZEOLITAS)

Perteneciente al grupo de los silicatos hidratados de aluminio, integrada por más de cuarenta variedades, posee grandes cantidades de sílice (SiO_2) alúmina reactiva (Al_2O_3). Producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volantes y de su posterior cementación diagenética. Se debe señalar que no todos los depósitos de este tipo son puzolánicas, sino solamente los que son ácidos y ricos en vidrios. Al mismo tiempo, se distingue como de los mejores, los que contienen minerales ceolíticos

2.1.4. ADICIONES MINERALES

2.1.4.1. CENIZAS VOLANTES

La ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón pulverizado en plantas carboelectricas. Bajo la ignición (combustión) en el horno, la mayor parte de la materia volátil y el carbono del carbón se queman. Durante la combustión las impurezas minerales del carbón (tales como arcilla, feldespato, cuarzo y esquisto) se funden en suspensión y se transportan hacia afuera de la cámara por los gases de escape. En el proceso el material se enfría y se solidifica como pequeñas esferas vítreas llamadas cenizas volantes de los gases de escape a través de precipitadores electrostáticos o de filtros de manga. La ceniza volante es un polvo finamente dividido parecido al cemento. La incorporación de cenizas volantes afecta las propiedades del hormigón fresco y endurecido. Las variaciones de ambos estados pueden afectar a la durabilidad del hormigón. Las propiedades más valoradas de los hormigones con cenizas volantes en estado fresco son su mayor docilidad, lo que permite relaciones agua/cemento más bajas, y la reducción en el calor de hidratación por la disminución del contenido de cemento. Al endurecerse desarrollan bajas resistencias a edades tempranas, pero su resistencia al largo plazo suele ser igual o mayor a la de los hormigones equivalentes sin ceniza.

La Norma ASTM C 618-01 define dos clases de cenizas volantes:

Clase F: Producidas por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso.

Cenizas que poseen propiedades puzolánicas.

Clase C: Producidas por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de cenizas, además de tener propiedades puzolánicas, también tienen propiedades cementicias.

2.1.4.2. MICROSÍLICE (SILICA FUME)

Es un subproducto de la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferrosilicio a temperaturas mayores a los 2000 °C. A esta temperatura se producen temperatura que forman partículas esféricas muy pequeñas de sílice no cristalizada. El material retenido por filtración de los gases de escape del horno, en filtros de mangas, poseen un diámetro promedio de 0.1 μm .

2.1.4.3. ESCORIA DE ALTOS HORNOS

La escoria de alto hornos se obtiene durante proceso de la fabricación de acero, mediante la fusión de la caliza con ceniza de cok, estos son los silicatos y aluminatos que quedan como residuo en el mineral después de la reducción y correspondiente

separación del hierro. La escoria aflora a la superficie y es eliminada periódicamente. La escoria obtenida por enfriamiento rápido (escoria granulada) se usa en la fabricación de cemento o de concreto. En general, el polvo cristalino generado por el enfriamiento lento tiene poco o ningún valor como cemento. En cambio, la escoria enfriada eficazmente, hasta estructura vítrea, cuenta con propiedades hidráulicas latentes.

2.1.5. VENTAJAS DE LAS ADICIONES

Las adiciones pueden ser utilizadas para el mejoramiento del desempeño del concreto en su estado fresco y endurecido. Son principalmente utilizados para mejorar la trabajabilidad, durabilidad y la resistencia. Estos materiales le permiten al productor de concreto diseñar y modificar la mezcla de concreto para satisfacer la aplicación deseada. Las mezclas de concreto con elevados contenidos de cemento Portland son susceptibles a la fisuración y a una mayor generación de calor (alto calor de hidratación). Estos efectos pueden ser controlados en alguna medida mediante la utilización de adiciones al cemento. Los materiales cementantes suplementarios tales como las cenizas volantes le permiten a la industria del concreto utilizar centenares de millones de toneladas de subproductos que de otra forma serían vertidos en el terreno como desechos. Por otro lado, su utilización reduce el consumo de cemento Portland por unidad de volumen de concreto. El cemento

Portland tiene un elevado consumo de energía y de emisiones asociadas con su producción. Este consumo energético se disminuye cuando se reduce la cantidad de cemento Portland utilizada en el concreto, implícitamente a esta ventaja se encuentra la protección del medio ambiente al reducir la emisión de CO (dióxido de nitrógeno), (dióxido de carbono), SO (dióxido de azufre), NO

2.1.5.1. CONCRETO FRESCO

En general, las adiciones al cemento mejoran la consistencia y la trabajabilidad del concreto fresco, porque se le añade un volumen adicional de finos a la mezcla. El concreto con cenizas volantes, reducen la demanda de agua para el asentamiento requerido del concreto. El tiempo de fraguado del concreto puede ser retardado con algunas adiciones utilizadas en porcentajes elevados. Esto puede ser beneficioso en clima caliente. Debido a los finos adicionales, la cantidad y la tasa de la exudación en estos concretos es frecuentemente baja.

2.1.5.2. CONCRETO ENDURECIDO

La resistencia del concreto puede ser dosificada para producir la resistencia requerida. Con las adiciones, la velocidad de ganancia de resistencia puede ser más baja inicialmente, pero la ganancia de resistencia es continuidad por un periodo de tiempo más largo comparado con las mezclas que solo poseen cemento Portland.

En lo referente a durabilidad, las adiciones al cemento pueden ser utilizadas para reducir el calor asociado con la hidratación del cemento y reducir el potencial de fisuración térmica en elementos estructurales masivos. Estos materiales modifican la microestructura del concreto y reducen su permeabilidad por lo que, consecuentemente, reducen la penetración de agua y sales disueltas en el concreto. La impermeabilidad del concreto reducirá varias formas de deterioro del mismo, tales como la corrosión del acero de refuerzo y el ataque químico.

2.2. DURABILIDAD DEL CONCRETO

La durabilidad del concreto se puede describir en frases cortas como la capacidad del concreto para resistir exposiciones severas, intemperismo ataques químicos, abrasión y cualquier otra condición a la que pueda estar expuesta una estructura en sus condiciones de servicio.

De acuerdo a lo anterior, se puede decir que un concreto con un alto grado de durabilidad es aquel que reúna un soporte a estos ataques, así también debemos tener en cuenta que muchas veces el medio ambiente también puede sumarse a estos ataques, modificando sus propiedades.

No necesariamente la durabilidad del concreto son las características resistentes de éste (resistencia a la compresión), recientes estudios realizados se ha comprobado que si bien la resistencia es un aspecto importante, no es el único, ya que existen condiciones como el medio

ambiente y condiciones de servicio, que ameritan que se den especificaciones o requerimientos para los diseños de mezcla, materiales, técnicas de producción y procesos constructivos especiales.

Es por ello que al realizar un proyecto en nuestro medio cuando se hable de un diseño de mezcla para una determinada estructura, se debe de hacer un requerimiento especial, es decir “no existe una receta mágica” para preparar una mezcla, en cambio cada estructura tiene un requerimiento especial.

Si bien es cierto realizar un concreto durable, se le asocia la calidad de los agregados y cantidades de cemento en su preparación, hoy en día también es necesario hablar de las tecnologías desarrolladas para optimizar estos diseños, que a su vez lo hacen más económicos y de mejor calidad.

2.2.1. REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO.

Se puede describir al fenómeno que ataca al concreto endurecido fabricado con ciertos agregados sensibles, que después de varios años de exposición al medio ambiente y ante la presencia de óxidos de Sodio y Potasio (llamados comúnmente álcalis) provenientes principalmente del cemento, más humedad y temperatura, se origina un gel alrededor de las partículas gruesas, que va hinchándose cada vez más, destruyendo la estructura interna del concreto, ocasionando fisuración y desintegración de la estructura.

2.2.2. REQUERIMIENTOS PARA LAS PRESENCIA DE LA REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE

Se requiere de cuatro condiciones que deben darse simultáneamente para que exista la reacción, sin embargo si alguna de estas condiciones no se presentase, no sería posible que se desarrolle esta reacción.

- Agregado sensiblemente reactivo a los álcalis.
- Suficiente cantidad de álcalis para activar la reacción.
- Humedad necesaria para que los álcalis entren en solución y generen la reacción química.
- Mantenimiento de la reacción química en el tiempo requerido para originar el gel y que se expanda provocando fisuración.

2.3. MATERIALES CONSTITUYENTES DEL DISEÑO DE MEZCLA.

2.3.1. AGUA DE DISEÑO

2.3.1.1. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es un factor importante, ya que las impurezas que contenga pueden interferir en la hidratación del cemento, afectando negativamente la resistencia del concreto u ocasionar el manchado de su superficie, así como llevar a la corrosión del refuerzo. Por estas razones, debe evaluarse su conveniencia para fines de mezclado y curado. Debe hacerse una distinción clara entre los efectos del agua para mezcla y el ataque de aguas

agresivas al concreto endurecido, ya que algunas de estas últimas son inofensivas e incluso benéficas si se usan en el mezclado.

2.3.1.2. AGUA PARA MEZCLAS

En muchas especificaciones, la calidad del agua se considera en una cláusula que el agua a ser usada para la mezcla debe ser apta para beber. Esta agua muy rara vez contendrá sólidos disueltos por sobre 2000 partes por millón (ppm) y por lo general menos de 1000 ppm. Como ejemplo para una relación agua/cemento de 0.5 por masa, el segundo contenido corresponde a una cantidad de sólidos igual a 0.05% de la masa del cemento; así cualquier efecto de los sólidos comunes (considerado como agregado) sería pequeño. Si el contenido de sedimento es mayor de 2000 ppm, puede reducirse permitiendo que el agua permanezca en un depósito, para que se asiente antes de usarse.

Líneas arriba se describió que el criterio del agua para mezcla debe ser la misma que se usa para el consumo humano, sin embargo el criterio de la potabilidad del agua no es absoluto, el agua para beber puede no ser adecuado para mezclas cuando tenga una concentración alta de sodio o potasio, por el peligro de un reacción álcali-agregado.

El agua potable es por lo general segura, pero también la no potable suele ser adecuada para elaborar concreto. Como regla,

cualquier agua con un PH (grado de acidez) de 6.0 a 8.0 que no sepa salada es útil, el color oscuro o un cierto olor no indican necesariamente la presencia de sustancias deletéreas. Las aguas naturales ligeramente acidas son inofensivas, pero las que contengan ácido húmico u otros ácidos orgánicos pueden afectar negativamente el endurecimiento del concreto.

Conociendo estos efectos que podría causar el uso de agua no apta para la mezcla y curado, es que la norma nacional ITINTEC 339.088 establece algunos parámetros los cuales fueron utilizados para la elaboración de las mezclas de esta investigación.

DESCRIPCION DE SUSTANCIAS	VALORES ADMISIBLES
SULFATOS (Ion SO ₄)	600 ppm
CLORUROS (Ion Cl)	1000 ppm
MATERIA ORGANICA	3 ppm
P.H.	5 a 8
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	5000 ppm
ALCALINIDAD	1000 ppm
SALES DE MAGNESIO	150 ppm

Tabla 1 Límites permisibles para agua de mezclas y curado

2.3.1.3. AGUA PARA CURADO

En general, el agua que es adecuada para la mezcla también lo es para el curado, sin embargo el hierro y la materia orgánica pueden ocasionar manchas, especialmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora con rapidez. En algunos casos la decoloración es insignificante y cualquier agua adecuada para mezcla, incluso de calidad ligeramente menor es adecuada para curado, es esencial que sea libre de sustancias que ataquen al concreto endurecido.

2.3.1.4. PRUEBAS AL AGUA

Si bien es cierto se pueden presentar ocasiones en donde no se cuenta con un laboratorio adecuado para el tratado del agua, sin embargo un método rápido para conocer la existencia de ácidos, es por medio de un papel tornasol, el cual si es sumergido en un agua ácida tomará un color rojizo, así mismo para determinar la presencia de yeso u otro sulfato es por medio de cloruro de bario.

Cabe resaltar que estos ensayos si bien es cierto ayudan a conocer las tentativas propiedades del agua, no reemplazan a ensayos químicos de laboratorio.

2.3.2. CEMENTO

2.3.2.1. CEMENTO PORTLAND

El cemento portland es un material artificial de muy compleja estructura, que en contacto con el agua se transforma en una serie de productos coloidales y micro cristalinos que paulatinamente por modificaciones en su estructura coloidal y crecimiento entrelazado de cristales producen el endurecimiento y le proporcionan su carácter hidráulico. Todas estas transformaciones están sujetas a determinadas condiciones geológicas, ya que las masas que se obtengan al mezclarlo con agregado fino, grueso y agua, deberán ser plásticas y trabajables antes de alcanzar rigidez, durante un periodo de tiempo que no deberá ser tan corto que limite su manipulación, ni tan largo que demore el proceso constructivo. De acuerdo con la NTP 334.009, el cemento portland se define como cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfatos de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda.

Cuando los cementos con diferentes composiciones químicas se hidratan, pueden tener propiedades distintas. Es posible por tanto, seleccionar mezclas de materias primas para la producción de varios tipos de cemento, según las propiedades requeridas. De

hecho, diversos tipos de cemento portland están disponibles comercialmente y pueden producirse cementos especiales para usos específicos.

- **Composición del Cemento Portland**

Las materias primas para la fabricación del cemento portland son: caliza, arena, sílicea y minerales de hierro. También se emplean otros aditivos tales como yeso o materiales puzolánicos. El proceso de fabricación consiste en mezclar las rocas calcáreas y las arcillas en proporciones adecuadas y molerlas finamente, de manera que el óxido cálcico de la caliza y los compuestos de la arcilla (SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3) terminen homogenizados adecuadamente.

- ✓ Caliza (CaCO_3): componente calcáreo, a partir del cual se obtiene el óxido de calcio. Se encuentran en las capas superficiales de muchos cerros y montañas, en depósitos de profundidad variable. Para la fabricación de cemento se sacan volúmenes muy grandes por que la caliza representa el 80% de las materias primas que forman el Clinker.
- ✓ Arcilla ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$ + Óxidos de Ti, Fe, Mg, Ca, Na, K): Constituida por silicatos de aluminio en un 45 a 65%, por óxidos

de aluminio de 10 a 15%, por óxidos de fierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. Es también la principal fuente de álcalis (bases fuertes). La arcilla representa aproximadamente un 15% de la materia prima que formara el Clinker.

- ✓ Componentes correctores: Se añaden en los casos en que las materias primas disponibles no contienen la cantidad suficiente de un de los compuestos químicamente necesarios en el crudo. Así por ejemplo, se emplea arena como material adicional cuando las materias primas disponibles no contienen cantidad suficiente de SiO_2 en su composición química, o si carecen de suficientes óxidos de hierro.
- ✓ Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): se adiciona al cemento (aproximadamente 5%), durante la molienda, para controlar el fraguado. El producto resultante, denominado polvo crudo, se calcina en un horno a temperatura de $1450 - 1600^\circ\text{C}$, donde se produce la fusión incipiente del producto resultante, denominado Clinker. Una vez obtenido el Clinker, se deja enfriar y se muele junto con el yeso aproximadamente un 5%, para finalmente obtener cemento portland.

2.3.2.2. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Para asegurar la durabilidad del concreto en diversas condiciones se han desarrollado muchos cementos, sin embargo no ha sido posible encontrar en la composición del cemento una respuesta completa al problema de la durabilidad del concreto. Las propiedades físicas y mecánicas más importantes del concreto endurecido como resistencia, contracción, permeabilidad, resistencia al intemperismo y flujo plástico, también son afectadas por factores distintos de la composición del cemento, aunque esta determine, en alto grado el índice de incremento de la resistencia. La tendencia general para cementos con una tasa lenta de endurecimiento es alcanzar una mayor resistencia final.

Cabe resaltar que estas tendencias son hasta cierto punto influidas por cambios en las propiedades de la mezcla. Solo en las primeras etapas de hidratación se encuentran diferencias significativas en las propiedades físicas importantes de los diversos tipos de cementos.

La división de cementos en tipos diferentes no es más que una clasificación burda y pueden existir notorias diferencias entre cementos del mismo tipo. Obtener alguna propiedad deseada en un concreto puede tener consecuencias no deseadas, por ello es necesario hacer un balance de requerimientos, así como tener en cuenta el aspecto económico de la elaboración.

- **Cemento Portland Común**

- ✓ Cemento portland Tipo I

Destinado a obras de concreto en general, cuando no se requieren propiedades especiales, las mismas que no especifiquen la utilización de los tipos II, III, IV, V.

- ✓ Cemento portland Tipo II

Destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera de un moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado. Muy usado en pisos industriales.

- ✓ Cemento portland Tipo III

Cuando se requiere alta resistencia inicial, con elevado calor de hidratación. Para uso en climas fríos o en los casos donde se necesita adelantar la puesta en servicio de la estructuras.

- ✓ Cemento portland Tipo IV

Cuando se requiere bajo calor de hidratación para concreto masivo.

- ✓ Cemento portland Tipo V

Es el cemento portland del cual se requiere alta resistencia a los sulfatos.

- **Cemento Portland Adicionado**

- ✓ Cemento portland Tipo ISM

Cemento al que se le ha añadido menos del 25% (referido al peso total) de escoria de altos hornos.

- ✓ Cemento portland Tipo IS

Cuando tienen un contenido de 25% a 70% de escoria de altos hornos

- ✓ Cemento portland Tipo IPM

Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje, hasta el 15% del peso total.

- ✓ Cemento portland Tipo IP

Cemento al que se le ha añadido puzolana entre el 15% al 40% del peso total.

2.3.3. AGREGADOS

2.3.3.1. DESCRIPCIÓN

Los agregados utilizados para la elaboración de la investigación, provienen de la cantera Poderosa, debido a los antecedentes de investigaciones anteriores donde muestran mejores cualidades en cuanto a sus propiedades físicas y químicas en comparación a agregados de las demás canteras que tenemos en la ciudad de Arequipa, y realizado el estudio, se puede asumir un factor adicional por lo que se obtuvo mejores resultados en las propiedades mecánicas del concreto ya que en promedio constituyen alrededor del 60% del volumen total de la mezcla de concreto.

2.3.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Se requiere conocer las propiedades físicas de los agregados con un estricto control de calidad ya que para elaborar concretos representativos la variación de algún cambio en su constitución podría alterar el diseño de mezcla. Se realizaron tres muestras por cada ensayo que se realizó (M1, M2, M3) tanto para el agregado fino y grueso, tomando los valores promedios de las tres muestras como la muestra representativa.

❖ **Peso unitario suelto y compactado**

El peso unitario del agregado comprende el peso que alcanza un determinado volumen. El peso unitario del agregado varía de

acuerdo a condiciones intrínsecas, como la forma, granulometría y tamaño máximo. Este valor es requerido cuando se trata de clasificar agregados ligeros o pesados y en caso de realizar proporciones de mezcla de concreto por volumen. Para la determinación del peso se empleó las normas:

- **NTP 400.017:1999** AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.

❖ **Peso Específico**

Se le conoce como la propiedad la cual determina el peso de la mezcla, para su cálculo se realiza la división del peso de la partículas entre el volumen total sin considerar los vacíos. Las normas a tomar en cuenta para su procedimiento son las normas:

- **NTP 400.021:2002** AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso.
- **NTP 400.022:2002** AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.

❖ **Absorción**

Se le refiere a la propiedad que tienen los agregados de captar el agua posible en los vacíos al interior de las partículas.

Esta propiedad parte por el principio de la capilaridad, por lo cual estos no se llenan en su totalidad, ya que se cuenta con la presencia de aire atrapado.

❖ **Humedad**

Es la cantidad de agua que posee el agregado bajo condiciones ambientales al momento de usarlo en el diseño del concreto.

- **NTP 339.185:2002 AGREGADOS.** Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

❖ **Granulometría**

Es el análisis mediante el cual se realiza una distribución de las partículas por medio de los tamaños retenidos en diferentes tamices.

Este cálculo se realiza mediante el peso de las partículas retenidas en las diferentes mallas, cada tamiz acumula cierta cantidad de material para que después mediante una gráfica, permita observar cual es la distribución semi-logarítmico del agregado.

Estos tamices tienen un diámetro especificado estándar por la ASTM, donde parte de un diámetro de 3", hasta un mínimo establecido en dicha norma.

- **NTP 339.185:2002 AGREGADOS.** Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

❖ **Módulo de finura**

Establece un índice aproximado del tamaño medio de los agregados, si este fuese un indicador bajo se trataría de un agregado fino, caso contrario se trataría de un agregado grueso.

El módulo de fineza es un método para controlar la uniformidad de las partículas, y para tener una referencia de la cantidad de agua que la mezcla requiera.

Los antecedentes experimentales indican que un agregado fino cuyo módulo de fineza se entra en un rango de 2.2 y 2.8 son agregados adecuados para conseguir una buena trabajabilidad y controlar la segregación, mientras que agregados finos que se encuentran en un rango de 2.8 y 3.1 son adecuados para alcanzar concretos de alta resistencia a la compresión.

2.3.3.3. AGREGADO FINO

Material fino que está compuesto de partículas limpias, libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, materia orgánica y otras sustancias que alteren su calidad del agregado.

❖ Granulometría

Para realizar el cálculo de la granulometría del agregado fino se deberá realizar una sumatoria de los pesos retenidos acumulados de las mallas N°4 hasta N°200 y posteriormente hacer una división entre 100.

Para tener un rango adecuado de la granulometría se sugiere emplear límites que se presentan en el siguiente cuadro.

TAMIZ	% QUE PASA
3/8" (9.50 mm)	100
N°4 (4.75 mm)	95 - 100
N°8 (2.36 mm)	80 - 100
N°16 (1.18 mm)	50 - 85
N°30 (0.60 mm)	25 - 60
N°50 (0.30 mm)	10 - 30
N°100 (0.15 mm)	2 - 10

Tabla 2 Análisis Granulométrico de Agregado Fino

2.3.3.4. AGREGADO GRUESO

Puede denominarse agregado grueso al agregado constituida por roca partida, grava natural o triturada, agregados artificiales o una

combinación de ellos. Así mismo dicho material es considerado agregado grueso cuando es retenido por el tamiz N°4 (4.75 mm).

❖ **Tamaño máximo**

Según la Norma NTP 400.037 el tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de un agregado grueso.

❖ **Tamaño máximo nominal**

Según la Norma NTP 400.037 se entiende por tamaño máximo nominal al que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- Un tercio del peralte de las losas.
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de preesfuerzo.

2.3.4. CENIZAS DE CARBÓN

Son el residuo finamente dividido, de las plantas generadoras de energía eléctrica, como subproducto industrial resultado de la

combustión del carbón molido. Las partículas son principalmente esféricas y sólidas con algunos cenospheres (esferas huecas) o plerospheres (esferas que contienen esferas más pequeñas). El tamaño de partículas es < 1 micrón a > 100 micrones. Tamaño de partícula mediano - 5 a 20 micrones. Su densidad suelta sin compactar de 540 a 860 kg/m^3 , su densidad suelta compactada es de 1120 a 1500 kg/m^3 , generalmente presentan una gravedad específica de 1.9 a 2.8 , siendo su color de presentación de un gris oscuro a un gris claro.

Estas características ayudan a la disminución del uso del agua en la mezcla y por su peso específico reduciría el peso de una estructura en una cantidad considerable, por otro lado al presentar una finura muy alta, mejoraría notablemente la trabajabilidad de la mezcla reduciendo la cantidad de energía necesaria para su operatividad.

Las adiciones minerales (diferentes a los aditivos) son compuestos naturales o artificiales que se incorporan al cemento o directamente al concreto con el objeto de mejorar el comportamiento del cemento o concreto en estado fresco y/o endurecido.

2.3.4.1. CLASIFICACIÓN

Cuando las cenizas se utilizan como una mezcla de minerales en el concreto, estas se clasifican según la ASTM, en dos categorías, clase F y clase C. En la clase F la ceniza es Pozolánica y se compone principalmente de silicio, aluminio y hierro. El material

puzolánico se endurecerá con agua pero sólo después de una activación con sustancia alcalina como la cal. La clase C de las cenizas, es material cementante que también contiene silicio, aluminio y hierro pero es alto en calcio (CaO) y endurecida con agua

Clasificación ASTM C-618

COMPOSICION	CLASE F	CLASE C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	70% min.	50% min.
MgO	5% máx.	5% máx.
SO ₃	5% máx.	5% máx.
Humedad	3% máx.	3% máx.
Perdida a la Incineración	6% máx.	6% máx.

Tabla 3 Composición Mineralógica de Cenizas Volante

Las cenizas que reúnen las especificaciones ASTM C-618, tienen una alta demanda en productos de concreto, las cenizas de baja calidad que no reúnen estas especificaciones son usadas típicamente en volúmenes muy altos para la aplicación de rellenos estructurales. El uso de la ceniza varía dependiendo de la calidad del producto, la proximidad de la planta al mercado y la disponibilidad del producto.

2.3.4.2. PROPIEDADES DE LA CENIZA DE CARBÓN

Las propiedades físicas y químicas de los productos de combustión del carbón dependen principalmente del tipo de carbón utilizado y de la técnica de combustión empleada. Las cenizas clase F son normalmente producidas de la quema de la antracita o de carbones bituminosos y generalmente poseen un contenido bajo de calcio. Las cenizas de clase C son producidas cuando se queman carbones sub-bituminosos y poseen típicamente propiedades puzolánicas.

En la siguiente tabla se muestra la composición química de las cenizas a partir de diferentes tipos de carbón.

COMPOSICION	PORCENTAJE POR PESO		
	BITUMINOSO	SUB-BITUMINOSO	LIGNITO
SiO ₂	20 - 60	40 - 60	15 - 45
Al ₂ O ₃	5 - 35	20 - 30	20 - 25
Fe ₂ O ₃	10 - 40	4 - 10	4 - 15
CaO	1 - 12	5 - 30	15 - 40
MgO	0 - 5	1 - 6	3 - 10
SO ₃	0 - 4	0 - 2	0 - 10
Na ₂ O	0 - 4	0 - 2	0 - 6
K ₂ O	0 - 3	0 - 4	0 - 4

Tabla 4 Clasificación del Carbón ASTM C-388 - 84

Como se muestra en la tabla anterior los componentes básicos de las cenizas son sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de calcio (CaO), y en menores proporciones de magnesio, sulfatos, carbono y álcalis.

Según su morfología las cenizas poseen un aspecto polvoriento, suave al tacto, con coloración grisácea, dependiendo de la cantidad de hierro que posea y del contenido de carbón no quemado que presente. Están constituidas principalmente por esferas compactas de tamaño variable y algunas huecas llamadas cenosferas. Las cenosferas son ligeras, inertes, compuestas principalmente de sílice y alúmina. Al lado de las cenosferas suelen encontrarse fragmentos compactos irregulares vítreos y trozos esponjosos irregulares. Estas cenosferas pueden presentar otras esferas más pequeñas en su interior llamadas pleurosferas. La proporción de las partículas esféricas aumenta con la finura de la ceniza, y las partículas con alto contenido en calcio suelen ser gránulos esféricos y lisos, mientras que las que tienen alto contenido en hierro suelen ser esferas más vítreas y con superficie rugosa.

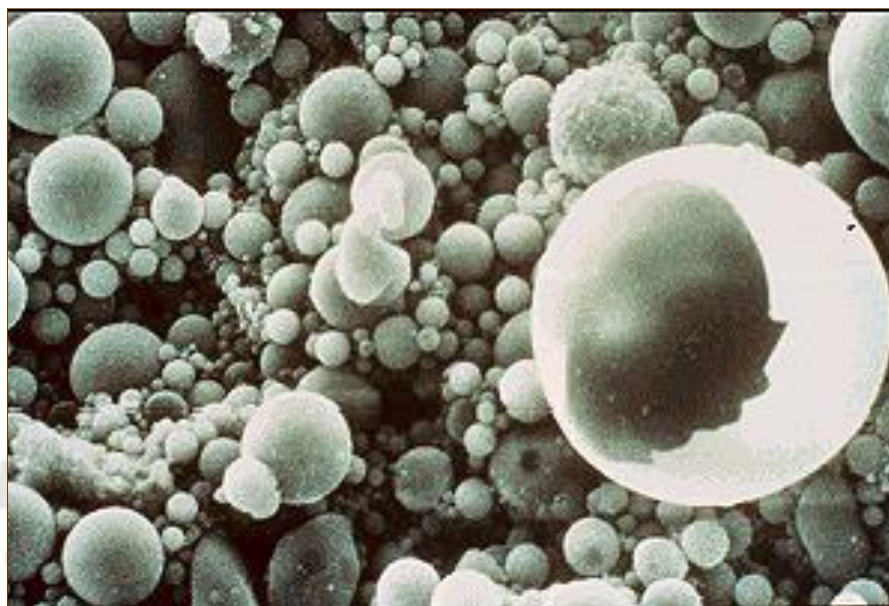


Figura 1 Ceniza de Carbón Tipo C

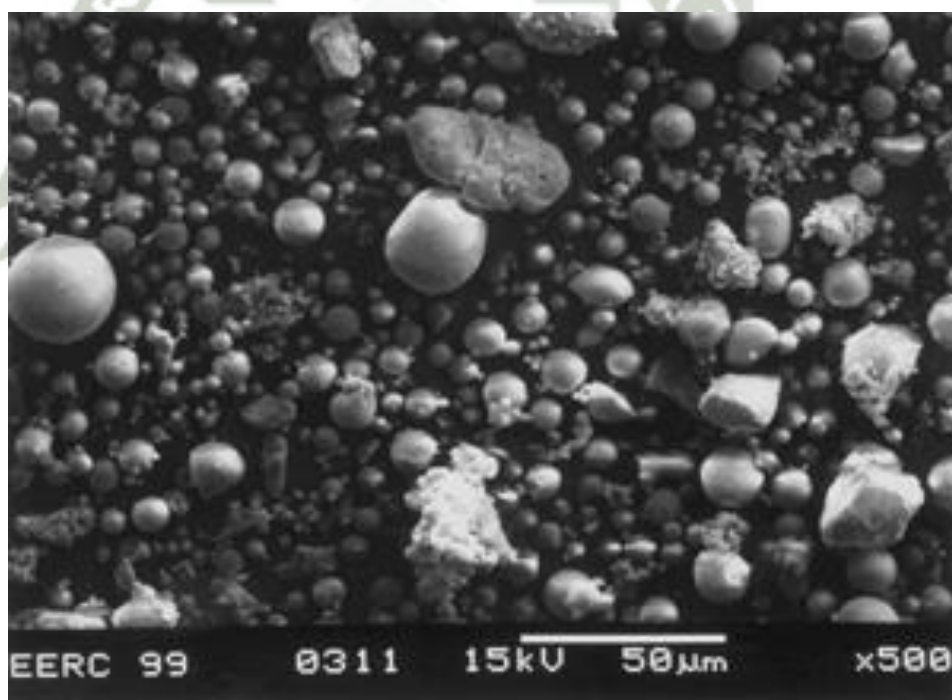


Figura 2 Micrografía de Ceniza de Carbón Tipo F

2.3.4.3. VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN

El uso de las cenizas de carbón en las mezclas de concreto tiene múltiples beneficios y mejora el rendimiento del concreto, tanto en su estado fresco como solidificado. El uso de cenizas en el concreto mejora la trabajabilidad del concreto plástico, la firmeza y durabilidad del concreto solidificado. Cuando se agrega ceniza de carbón al concreto el monto de cemento de Pórtland se puede reducir

2.3.4.4. BENEFICIOS DE LAS CENIZAS DE CARBÓN EN EL CONCRETO FRESCO

Generalmente las cenizas benefician al concreto en estado fresco reduciendo los requerimientos de la mezcla de agua y mejorando el comportamiento del flujo de la pasta, el resultado de los beneficios son los siguientes:

- Mejora la trabajabilidad: Las formas esféricas de las partículas de las cenizas actúan como bolas en miniaturas que quedan dentro de la mezcla de concreto proveyendo de esta manera un efecto lubricante. Este mismo efecto además mejora la capacidad de bombear el hormigón al reducir la pérdida de la fricción durante el proceso de bombeado y término de trabajo plano.

- Reduce la demanda de agua: Cuando la ceniza es utilizada alrededor del 20% del total del cemento, la demanda de agua se reduce aproximadamente en un 10%. Mayores contenidos de cenizas reducirán más la cantidad de agua. El descenso de la demanda de agua no produce que el hormigón se seque, se encoja o quiebre.
- Reduce el calor de hidratación: Reemplazar el cemento con la misma cantidad de ceniza volante puede reducir el calor de hidratación del concreto. Esta reducción de calor de hidratación no tiene efectos en la dureza a largo plazo o en la durabilidad. Al reducir el calor de hidratación además se reduce los problemas que se producen cuando el calor aumenta en las masas de concreto.

2.3.4.5. BENEFICIOS DE LAS CENIZAS DE CARBÓN EN ESTADO ENDURECIDO

Uno de los principales beneficios de las cenizas es la reacción con cal y bases en el concreto, produciendo componentes cementantes adicionales. La siguiente ecuación ilustra la reacción de la puzolana reemplazada por las cenizas con la cal, para producir adicionalmente hidrato de silicato de calcio.

- Reacción Cemento: $C_3S + H$ (hidratación) $\rightarrow C-S-H + CaOH$
- Reacción Puzolana: $CaOH + S$ (sílice componente de Ceniza) $\rightarrow C-S-H$

- Aumenta la dureza final: La reacción adicional que se produce producto de la reacción de las cenizas con la cal disponible permite que el concreto con ceniza de carbón continúe ganado dureza durante el tiempo.
- Reduce la permeabilidad: La reducción en el contenido de agua combinada con la producción adicional de los componentes cementosos, reduce la interconectividad de los poros en el concreto disminuyendo la permeabilidad. Esta reducción en la permeabilidad mejora a largo plazo la durabilidad y resistencia en varias formas de deterioramiento.
- Mejora la durabilidad: El descenso de la cal libre y el aumento de componentes cementantes combinado con la reducción de la permeabilidad mejora la durabilidad del concreto, esto conlleva a varios beneficios.
- Mejora resistencia a reacciones sílice – base: Las cenizas de carbón reaccionan con el álcali en el hormigón, lo que lo hace menos probable a reaccionar con ciertos minerales de silicio contenido en los agregados.
- Mejora la resistencia al ataque del sulfato: Las cenizas de carbón inducen a 3 fenómenos que mejoran la resistencia al sulfato:
 - Las cenizas de carbón consumen la cal libre lo que hace que no pueda reaccionar esta con el sulfato.
 - Al reducir la permeabilidad reduce la penetración del sulfato en el concreto.

- El remplazo del cemento reduce la cantidad de reactivos de aluminio disponibles.
- Mejora la resistencia a la corrosión ya que la reducción en la permeabilidad aumenta la resistencia a la corrosión.

2.3.4.6. APLICACIÓN DE LAS CENIZAS DE CARBÓN EN EL MUNDO

Existen numerosas edificaciones de gran importancia en el mundo las cuales han sido construidas con agregados de cenizas volantes. A continuación se mostrarán algunas de estas.

En Washington DC, tanto el sistema de metro de área metropolitana, como el nuevo edificio de Ronald Reagan y el Centro Internacional Comercial fueron construidos con hormigón que contiene ceniza volantes. El Ronald Reagan contiene un 25% de cenizas volantes en el hormigón (Villamizar, 2007). En las siguientes imágenes se muestran el Ronald Reagan y metro, en Washington.



Figura 3 Ronald Reagan Building and International
Trade Center - Washington DC



Figura 4 Metro nacional de Washington

Otras estructuras significativas que utilizaron cenizas de carbón en el concreto es el “Big Dig” en Boston.



Figura 5 “Big Dig” en Boston

Una de las estructuras de mayor significación en los Estados Unidos, es el “Hungry Dam” en Montana, el cual fue construido a partir del año 1948 hasta el año 1952, con concreto que contiene ceniza de carbón en aproximadamente 35% del cemento Portland.



Figura 6 Hungry Horse Dam

En la construcción de la torre Picasso en Madrid se utilizó concreto con cenizas de Carbón.



Figura 7 Torre Picasso en Madrid

2.3.4.7. Cenizas de Carbón empleadas

Las cenizas de carbón utilizado en esta investigación proviene de las calderas de la papelera TRUPAL de Santiago de Cao, la Libertad, a fin de evaluar su desempeño en las mezclas que serán presentadas en lo posterior, según las especificaciones de la ASTM C – 618, estas cenizas se encuentran clasificadas como cenizas de tipo F.

Para lo que se presenta el siguiente cuadro con la descripción de su composición química y Física:

CONSTITUYENTES	COMPOSICION %
Oxido de Silicio, SiO ₂ (%)	44.5
Oxido de Aluminio, Al ₂ O ₃ (%)	27.38
Oxido Férrico, Fe ₂ O ₃ (%)	1.63
Oxido de Calcio, CaO (%)	0.63
Oxido de Magnesio, MgO (%)	0.59
Trióxido de Azufre, SO ₃ (%)	0.45
Oxido de Sodio, Na ₂ O (%)	0.36
Oxido de Potasio, K ₂ O (%)	1.87
Oxido de Titanio, TiO ₂ (%)	1.44
Pentóxido de Fosforo, P ₂ O ₅ (%)	0.22
Trióxido de Cromo, Cr ₂ O ₃ (%)	0.02
Oxido de Manganeso, MnO (%)	0.08
Perdida al fuego (%)	20.82
Peso Específico (Kg/m ³)	2280
HUMEDAD (%)	1.28%

Tabla 5 Ensayo de Fluorescencia y Rayos x – Fuente Yura S.A.

2.3.5. ADITIVOS

Son componentes de orgánicos (resinas) o inorgánicos, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Generalmente estos aditivos se clasifican en dos grandes Grupos:

- Modificadores de la reología, que cambian el comportamiento en estado fresco, tal como la consistencia, trabajabilidad, etc.
- Modificadores del fraguado, que adelantan o retrasan el fraguado o sus condiciones.

Los aditivos para el concreto deben cumplir las normas ASTM o N.T.P. establecidas para la valorización del uso de aditivos.

Existen aditivos que incrementan la fluidez del concreto haciéndolo más manejable, los aditivos que aceleran el fraguado son especialmente diseñados para obras o construcciones donde las condiciones climáticas evitan un curado rápido.

Los aditivos retardantes son usados en lugares donde el concreto fragua rápidamente, especialmente en regiones con clima cálido o en situaciones donde el concreto debe ser transportado a grandes distancias; esto con la intención de manipular la mezcla por mayor tiempo.

El uso de aditivos hoy en día, permite desarrollar diseños que no se lograría sin estos, así también se presenta algunas bondades de su uso:

- ✓ Reducir la cantidad de agua de amasado en la Mezcla
- ✓ Retardar la evolución del desarrollo del calor de hidratación.

- ✓ Acelerar la evolución de las resistencias mecánicas.
- ✓ Permite la adherencia de concreto antiguo – concreto fresco.
- ✓ Disminuya la permeabilidad del concreto.
- ✓ Incremente la durabilidad o resistencia frente a ataques de cloruros y condiciones severas de exposición.

2.3.5.1. CLASIFICACIÓN

Según la norma ASTM C-494, se puede clasificar a los aditivos en los siguientes tipos:

- ✓ Tipo A: Reductores de Agua
- ✓ Tipo B: Retardadores de Fragua.
- ✓ Tipo C: Acelerantes
- ✓ Tipo D: Reductores de Agua – Retardadores de Fragua.
- ✓ Tipo E: Reductores de Agua – Acelerantes.
- ✓ Tipo F: Súper Reductor de Agua.
- ✓ Tipo G: Súper Reductor de Agua – Acelerante.

Para la presente investigación se empleó dos tipos de aditivos de la marca SIKKA, ya que son los más accesibles en el mercado local.

2.3.5.2. ADITIVO REDUCTOR DE AGUA – VISCOCRETE 1110

También conocidos como aditivo reductor de agua de alto rango y de tercera generación, el cual tiene por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una

consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla de concreto,

❖ Campos de aplicación

- ✓ Es adecuado para la producción de concreto en obra, así como para el concreto pre-mezclado.
- ✓ Concreto para climas cálidos y/o sometidos a trayectos largos o espera antes de su utilización.
- ✓ Concreto de alta reducción de agua (hasta 30%)
- ✓ Concreto de alta resistencia.
- ✓ La alta reducción de agua y la excelente fluidez tienen una influencia positiva sobre las aplicaciones antes mencionadas

❖ Ventajas

- ✓ Fuerte reducción de agua y aumenta la cohesión lo que lo hace adecuado para la producción de concreto de alto Slump.
- ✓ Alta Impermeabilidad.
- ✓ Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia).
- ✓ Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- ✓ Mejora la plasticidad y disminuye la contracción plástica.

- ✓ Reduce la carbonatación del concreto, aumenta la durabilidad del concreto.
- ✓ Reduce la exudación, la segregación y aumenta la cohesión del concreto.
- ✓ Aumenta la adherencia entre el concreto y el acero

2.3.5.3. ADITIVO RETARDANTE DE FRAGUA – PLASTIMENT

TM 12

Es Aditivo de tercera generación el cual se clasifica como tipo D según la norma ASTM 494, se usa generalmente en concretos situados en climas cálidos o donde se pueda perder la trabajabilidad de la mezcla por las diferentes situaciones.

❖ Campos de aplicación

- ✓ Adecuado para la elaboración de mezcla en tiempos calurosos
- ✓ Colados de concretos en volúmenes considerables.
- ✓ Para evitar juntas frías en situaciones que lo ameriten.
- ✓ Transporte de concreto a distancias considerables.
- ✓ En mezclas que utilicen cantidades de cemento considerable.

CAPITULO 3

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO Y ENSAYOS APLICADOS AL CONCRETO



CAPITULO 3

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO Y ENSAYOS APLICADOS AL CONCRETO

3.1 ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

3.1.1 ASENTAMIENTO

Una muestra de concreto recién mezclado se coloca y compacta con una varilla metálica (chuceo) en un molde con forma de cono trunco. El molde se levanta y el concreto fluye. La distancia vertical entre la posición original (el tamaño del molde) y la desplazada producto del asentamiento del centro de la superficie superior del concreto es medida y registrada como el asentamiento del concreto.

El ensayo debe realizarse en un tiempo de 5 ± 2 s.

- **NTP 339.035:1999 HORMIGON.** Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.

El ensayo del asentamiento fue un parámetro a considerar en las mezclas del diseño óptimo, ya que a partir de este se adiciono aditivos a la mezcla. Se realizó en todas las mezclas efectuadas para calcular su variación de trabajabilidad, la que sirvió para analizar la cantidad de aditivo superplastificante que debía agregarse a la misma. En el capítulo IV se observa los gráficos de todos los asentamientos, ellos varían en función al porcentaje de adición de ceniza de carbón. Esto nos lleva a la conclusión de que a pesar que las mezclas son reoplásticas las que

contienen ceniza de carbón requieren más trabajo y esfuerzo. Es decir, existe una relación directamente proporcional entre cantidad de ceniza, trabajo y esfuerzo.

3.1.2 TEMPERATURA

Este ensayo le agrega un valor importante a la mezcla, puesto que este índice nos permite conocer cómo será el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto. Este método provee un significado para la medición de la temperatura del concreto fresco.

- **NTP 339.184:2002 HORMIGON (CONCRETO).** Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto)

El gradiente de temperatura entre la temperatura ambiente y la temperatura del concreto debe ser alrededor de 5%. En las mezclas mostradas, el gradiente de temperatura entre el ambiente y el concreto siempre es de aproximadamente 4°C. Se esperaba que al disminuir el cemento la temperatura del concreto con respecto al ambiente baje significativamente; sin embargo, esto no sucedió. Se asume que no ocurrió de esa manera debido a que la cantidad de porcentaje de reemplazo no es importante para el volumen de mezcla.

3.1.3 PESO UNITARIO

Este ensayo nos permite determinar la densidad del concreto en su estado fresco y brinda fórmulas para calcular rendimiento, contenido de cemento, y contenido de aire del concreto. El rendimiento se calcula como el volumen de concreto producido de un diseño de mezcla.

- **NTP 339.046:1979 HORMIGON (CONCRETO).** Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del hormigón.

En el capítulo IV se muestra los resultados, donde se ve que a mayor cantidad de adición de ceniza de carbón, menor será el peso unitario del concreto, esto se debe a que el peso específico de la ceniza es menor que el del cemento. Esta propiedad es de gran importancia ya que si en algún momento se quisiera utilizar para la construcción de un edificio de gran altura, reduciría considerablemente la carga muerta.

3.1.4 RENDIMIENTO

Este ensayo es un cálculo que se obtiene al dividir el peso unitario teórico obtenido por pesos unitarios de todos los insumos de la mezcla con el peso unitario real obtenido en el ensayo anterior.

- **NTP 339.046:1979 HORMIGON (CONCRETO).** Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del hormigón.

3.1.5 CONTENIDO DE AIRE

El contenido de aire permite medir el volumen de aire que existe entre las partículas de los agregados. Este volumen depende directamente del TM del agregado, la granulometría de estos y tiempo de mezclado.

- **NTP 339.080:1981** HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas.

En los ensayos realizados se muestra que el porcentaje de aire es inversamente proporcional a la cantidad de ceniza de carbón, esto podría deberse a que sus partículas son tan finas que se acomodan en los espacios vacíos de la mezcla. Lo que podría ser un punto a favor en cuanto a la permeabilidad del concreto, haciéndola más durable.

3.1.6 TIEMPO DE FRAGUA

El tiempo de fragua del concreto es un proceso gradual, cualquier definición de tiempo de fraguado debe necesariamente ser medida. En este método, el tiempo requerido para que el mortero alcance los valores especificados de resistencia a la penetración son usados para definir el tiempo de fraguado. Puede ser usado para determinar los efectos de las variables, tales como contenido de agua; marca de aditivos, tipo y cantidad de material cementicias.

- **NTP 339.082:2001** HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para la determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración.

Se puede decir que la ceniza actúa como un acelerante, pues a mayor cantidad de ceniza empleada en las mezcla, se redujo su tiempo de fraguado, este indicador puede ser manejado de dos formas, ya que puede ser manejado según la conveniencia del constructor.

3.2 ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

3.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión simple del concreto es su propiedad más característica y la que define parte de su calidad. Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de manera estándar. La interpretación de resultados es delicada debido a que la resistencia no es una propiedad característica o intrínseca del concreto realizado con materiales proporcionados, sino depende de muchos factores como tamaño y forma del espécimen, la mezcla, el procedimiento de batido, los métodos de muestreo, el moldeado y fabricación. Además de la edad, temperatura, y condiciones de curado de los especímenes. Los resultados de este método son usados como base para un control de calidad de la proporción, mezclado, y colocación del concreto;

determinación de la conformidad de las especificaciones y control para evaluar la efectividad de las adiciones.

Por ser concretos con resistencia a la compresión altas se empleó moldes cilíndricos estándar de 4" x 8", una barra compactadora de acero, recta y lisa de 3/8" de diámetro y 60 cm de longitud, terminada en punta roma. Las probetas se llenarán en dos capas compactadas, con 25 golpes distribuidos uniformemente en toda la superficie. El curado y elaboración de las probetas se realizarán bajo la norma:

- **NTP 339.037:2003 HORMIGON (CONCRETO).** Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto)

A las 24 horas de fraguado son desmoldadas y llevadas a una poza de curado donde se extraerán un día antes de ser ensayadas. Al ser una tesis de investigación la posa donde se curan los concretos tienen una temperatura controlada de 22°C a 25°C.

La adición de puzolanas a las mezclas de concreto no trae beneficio en la resistencia a la compresión inicial sino hasta después de los 14 días. Esto debido a las reacciones químicas que ocurren entre los compuestos que se forman en el momento que ocurre la hidratación. En el gráfico se observa que las resistencias iniciales de las mezclas con mayor contenido De cemento (Diseño Optimo) son mayores debido al mayor contenido de silicatos tricálcicos (una vez más se puede confirmar que

las ventajas de las adiciones se verán posteriormente). Se debe insistir en que las adiciones actúan como un filler a edades tempranas y su contribución con la resistencia a la compresión se observa mejor a los 28 días.

3.2.2 CONTRACCIÓN POR SECADO

Este método de ensayo determina los cambios longitudinales y evaporación del agua inmersa que son producidos por cambios de temperatura en especímenes de cemento hidráulico hechos en laboratorio y expuestos a condiciones controladas de temperatura y humedad.

- **ASTM C157/C157M-99** Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement, Mortar and Concrete

Las muestras de este ensayo fueron curadas bajo condiciones controladas de temperatura (35 días), luego fueron retiradas de la poza y almacenadas a condiciones de ambiente. No se tuvo un control de temperatura como indica el ensayo ya que se quería asemejar a lo que sucede en obra.

3.2.3 RESISTENCIA A FLEXIÓN

La resistencia a flexión del concreto es muy inferior a la resistencia a la compresión, sin embargo el desarrollo de la resistencia a flexión es más rápido que la evolución de la resistencia a la compresión. Estas y otras variaciones en el comportamiento instan a conocer la resistencia a flexión en elementos que estarán sometidos a estos esfuerzos por demandas mecánicas.

En esta investigación se notó con claridad que las cenizas empleadas no ayudan a obtener resultados superiores a los de un diseño sin ceniza, por lo que se recomienda que para la construcción de pavimentos de alto tránsito no son una buena alternativa, sin embargo por los resultados de contenido de aire, se puede utilizar en lugares donde no requiera mucha resistencia a flexión, más si un concreto menos permeable.

- **ASTM C78** Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete

3.3 ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

3.3.1 AGREGADOS

Los agregados utilizados para la elaboración de la investigación, provienen de la cantera Poderosa, debido a los antecedentes de investigaciones anteriores donde muestran mejores cualidades en cuanto a sus propiedades físicas y químicas en comparación a agregados de las demás canteras que tenemos en la ciudad de Arequipa, y realizado el estudio, se puede asumir un factor adicional por

lo que se obtuvo mejores resultados en las propiedades mecánicas del concreto ya que en promedio constituyen alrededor del 60% del volumen total de la mezcla de concreto.

Tanto como el agregado fino y grueso cumplen con la NTP 400.037 y la norma ASTM C 33.

- **Propiedades Físicas de los Agregados**

Se requiere conocer las propiedades físicas de los agregados con un estricto control de calidad ya que para elaborar concretos representativos la variación de algún cambio en su constitución podría alterar el diseño de mezcla. Se realizaron tres muestras por cada ensayo que se realizó (M1, M2, M3) tanto para el agregado fino y grueso, tomando los valores promedios de las tres muestras como la muestra representativa.

3.3.1.1 AGREGADO FINO

3.3.1.1.1 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

El peso unitario del agregado comprende el peso que alcanza un determinado volumen. El peso unitario del agregado varía de acuerdo a condiciones intrínsecas, como la forma, granulometría y tamaño máximo. Este valor es requerido cuando se trata de clasificar agregados ligeros o pesados y en caso de realizar proporciones de mezcla de concreto por

volumen. Para la determinación del peso se empleó la NTP 400.017.

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)

Peso Unitario Suelto (P.U.S.)		
		UND
Volumen de Molde	0.00282	m ³
Peso de Molde	1.65	Kg
W(Peso)		
Peso (molde + muestra)	6.34	Kg
Peso (molde + muestra)	6.36	Kg
Peso (molde + muestra)	6.37	Kg
W(Peso)		
Peso (Muestra)	4.71	Kg
Peso (Muestra)	4.71	Kg
Peso (Muestra)	4.72	Kg
PROMEDIO	4.714	
P.U.S. (Agr. Fino)	1672	Kg/m ³

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C)

Peso Unitario Compactado (P.U.C.)		
		UND
Volumen de Molde	0.00282	m ³
Peso de Molde	1.65	Kg
W(Peso)		
Peso (molde + muestra)	6.96	Kg
Peso (molde + muestra)	6.95	Kg
Peso (molde + muestra)	6.96	Kg
W(Peso)		
Peso (Muestra)	5.31	Kg
Peso (Muestra)	5.30	Kg
Peso (Muestra)	5.31	Kg
PROMEDIO	5.31	
P.U.S. (Agr. Fino)	1882	Kg/m ³

3.3.1.1.2 PESO ESPECIFICO

Cumple un rol importante cuando se requiere que el concreto tenga algunos limites o parámetros para el diseño, además, el peso específico nos da una referencia de la calidad del agregado, cuando el peso específico es elevado tienen un buen comportamiento, se el agregado tendría un peso específico bajo generalmente corresponden a agregados absorbentes y débiles.

Los ensayos para su determinación se realizaron según la NTP 400.022, obteniendo los siguientes resultados:

$$\gamma_{arena} = \frac{W_{ss}}{W_{SS} - (W_1 - W_2)}$$

WSS	Peso superficialmente seco de la muestra
W1	Peso de la Fiola + agua + material
W2	Peso de la Fiola + material
Y arena	Peso Específico de la arena

En el siguiente cuadro se presenta los cálculos obtenidos en los ensayos, cabe resaltar que realizaron tres pruebas, a manera de tener menor incertidumbre para su valor.

	W(Peso)	UND
WSS	500	gr
W1	966.43	gr
W1	966.03	gr
W1	966.21	gr
PROMEDIO	966.22	gr
W2	655.28	gr
W2	655.12	gr
W2	654.82	gr
PROMEDIO	655.073	gr

$$\gamma_{arena} = \frac{500}{500 - (966.22 - 655.07)}$$

$$\gamma_{arena} = 2.648 \text{ g/cm}^3$$

3.3.1.1.3 ABSORCIÓN

Es la capacidad que tienen los agregados de atrapar las moléculas de agua en sus poros, esta propiedad es importante para controlar el aporte del agua en el concreto, su variación podría afectar su resistencia y la trabajabilidad. El ensayo se realizó según la NTP400.022 obteniendo los siguientes resultados:

$$\text{Absorción} = \frac{(W_{ss} - W_S)}{W_S} \times 100$$

WSS	Peso superficialmente seco de la muestra
WS	Peso seco de la muestra (secado al horno 24 horas)
A	Absorción (%)

DESCRIPCION	W(Peso)	UND
WSS	500	gr
W bandeja	427.8	gr
W muestra + bandeja	920.1	gr
W muestra + bandeja	919.8	gr
W muestra + bandeja	919.4	gr
WS1 (secada al horno)	492.3	gr
WS1 (secada al horno)	492.00	gr
WS1 (secada al horno)	491.60	gr
PROMEDIO	491.97	gr

$$Absorción = \frac{(500 - 491.97)}{491.97} \times 100$$

$$Absorción = 1.632 \%$$

3.3.1.1.4 HUMEDAD.

Es la cantidad de agua que posee el agregado bajo condiciones ambientales al momento de usarlo en el diseño del concreto.

$$\% Humedad = \frac{(W_{ss} - WS)}{WS} \times 100$$

WSS	Peso superficialmente seco de la muestra
WS	Peso seco de la muestra (secado al horno 24 horas)
% HUMEDAD	Humedad del agregado (%)

3.3.1.1.5 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

La distribución de los tamaños del agregado, la granulometría está directamente relacionada con las características de manejabilidad del concreto en estado fresco, la demanda de agua, la compacidad y la resistencia mecánica del concreto en estado endurecido. Los límites granulométricos que recomienda la NTP 400.037 para realizar el ensayo del análisis granulométrico se presenta en el siguiente cuadro:

Malla	Diámetro (mm)	L. Inferior	L. Superior
3/8"	9.510	100%	100%
# 4	4.75	95%	100%
# 8	2.38	80%	100%
# 16	1.19	50%	85%
# 30	0.595	25%	60%
# 50	0.297	10%	30%
# 100	0.147	2%	10%
# 200	0.074	0.00	0%

Tabla 6 Limite Permisible para la granulometría del Agregado Fino

Malla	Diámetro (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante	L. Inf	L. Sup.
3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%
# 4	4.75	4.24	0.33%	0.33%	99.67%	95%	100%
# 8	2.38	225.32	17.33%	17.66%	82.34%	80%	100%
# 16	1.19	329.19	25.32%	42.98%	57.02%	50%	85%
# 30	0.595	277.98	21.38%	64.36%	35.64%	25%	60%
# 50	0.297	198.77	15.29%	79.65%	20.35%	10%	30%
# 100	0.147	149.34	11.49%	91.14%	8.86%	2%	10%
# 200	0.074	62.54	4.81%	95.95%	4.05%	0.00	0%
Fondo		52.62	4.05%	100.00%	0.00%		
Total		1300					

Cuadro 1 Granulometría del Agregado Fino

- Módulo de fineza**

Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas 3", 1½", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, todo esto dividido entre 100.

$$M.F. = \frac{\Sigma \%Ret. Acum. (3+1\frac{1}{2}" + 3/4" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

$$M.F. = \frac{\Sigma \%Ret. Acum. (0.32 + 18.22 + 44.24 + 65.55 + 80.37 + 90.75 + 96.08)}{100}$$

$$M.F. = 2.96$$

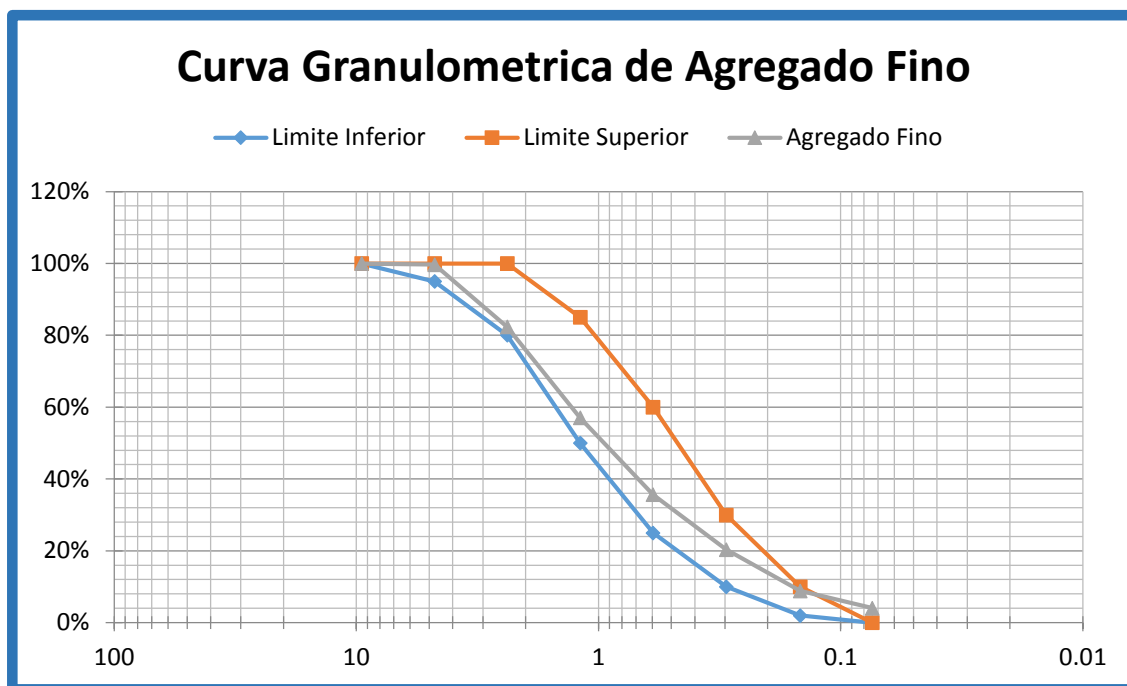


Grafico 1 Análisis Granulométrico del Agregado Fino

3.3.1.2 AGREGADO GRUESO

3.3.1.2.1 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)

Peso Unitario Suelto		
Volumen de Molde	0.01415	m3
Peso de Molde	5.61	Kg
	W(Peso)	UND
Peso (molde + muestra)	26.195	Kg
Peso (molde + muestra)	26.21	Kg
Peso (molde + muestra)	26.213	Kg
	W(Peso)	UND
Peso (Muestra)	20.585	Kg
Peso (Muestra)	20.6	Kg
Peso (Muestra)	20.603	Kg
PROMEDIO	20.596	
P.U.S. (Agr. Grueso)	1455.548	Kg/m3

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C)

Peso Unitario Compactado		
Volumen de Molde	0.01415	m ³
Peso de Molde	5.61	Kg
	W(Peso)	UND
Peso (molde + muestra)	29.041	Kg
Peso (molde + muestra)	28.971	Kg
Peso (molde + muestra)	29.01	Kg
	W(Peso)	UND
Peso (Muestra)	23.4	Kg
Peso (Muestra)	23.431	Kg
Peso (Muestra)	23.361	Kg
PROMEDIO	23.39733	
P.U.S. (Agr. Grueso)	1653.522	Kg/m ³

3.3.1.2.2 PESO ESPECIFICO

$$\gamma_{\text{piedra}} = \frac{W_{ss}}{W_{SS} - (W_1 - W_2)}$$

WSS

Peso superficialmente seco de la muestra

W1

Peso de la Canastilla sumergida + material

W2

Peso de la canastilla sumergida

γ_{piedra}

Peso específico de la arena

	W(Peso)	UND
WSS	3805	gr
WSS	3780	gr
WSS	3764	gr
W1	3332	gr
W1	3324	gr
W1	3309	gr
W2	915	gr
P1	2.741	gr
P2	2.757	gr
P3	2.747	gr
PROMEDIO	2.749	gr

$$\gamma_{\text{piedra}} = 2.749 \text{ g/cm}^3$$

3.3.1.2.3 ABSORCIÓN

$$\text{Absorción} = \frac{(W_{ss} - W_s)}{W_s} \times 100$$

WSS

Peso superficialmente seco de la muestra

WS

Peso seco de la muestra (secado al horno 24 horas)

A

Absorción (%)

DESCRIPCION	W(Peso)	
WSS	2200	
W bandeja	430.53	UND
W muestra + bandeja	2630.54	gr
W muestra + bandeja	2630.32	gr
W muestra + bandeja	2630.44	gr
WS1 (secada al horno)	2186.32	gr
WS1 (secada al horno)	2185.54	gr
WS1 (secada al horno)	2185.42	gr
PROMEDIO	2185.76	

$$\text{Absorción} = \frac{(2200 - 2185.76)}{2185.76} \times 100$$

$$\text{Absorción} = 0.651 \%$$

3.3.1.2.4 HUMEDAD

Es la cantidad de agua que posee el agregado bajo condiciones ambientales al momento de usarlo en el diseño del concreto.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(W_{ss} - WS)}{WS} \times 100$$

- WSS** Peso superficialmente seco de la muestra
WS Peso seco de la muestra (secado al horno 24 horas)
% HUMEDAD Humedad del agregado (%)

3.3.1.2.5 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

Malla	Diámetro (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante	L. Inf	L. Sup.
1 1/2"	38.10	0.00	0%	0.00%	100.00%		
1"	25.40	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3/4"	19.00	560	4.79%	4.79%	95.21%	90%	100%
1/2"	12.70	4080	34.92%	39.72%	60.28%		
3/8"	9.51	2120	18.15%	57.86%	42.14%	20%	55%
1/4"	6.35	2870	24.57%	82.43%	17.57%		
# 4	4.75	1300	11.13%	93.56%	6.44%	0%	10%
# 8	2.36	564	4.83%	98.39%	1.61%	0%	5%
# 16	1.18	136	1.16%	99.55%	0.45%		
Fondo		52.62	0.45%	100.00%	0.00%		

Cuadro 2 Granulometría del Agregado Grueso

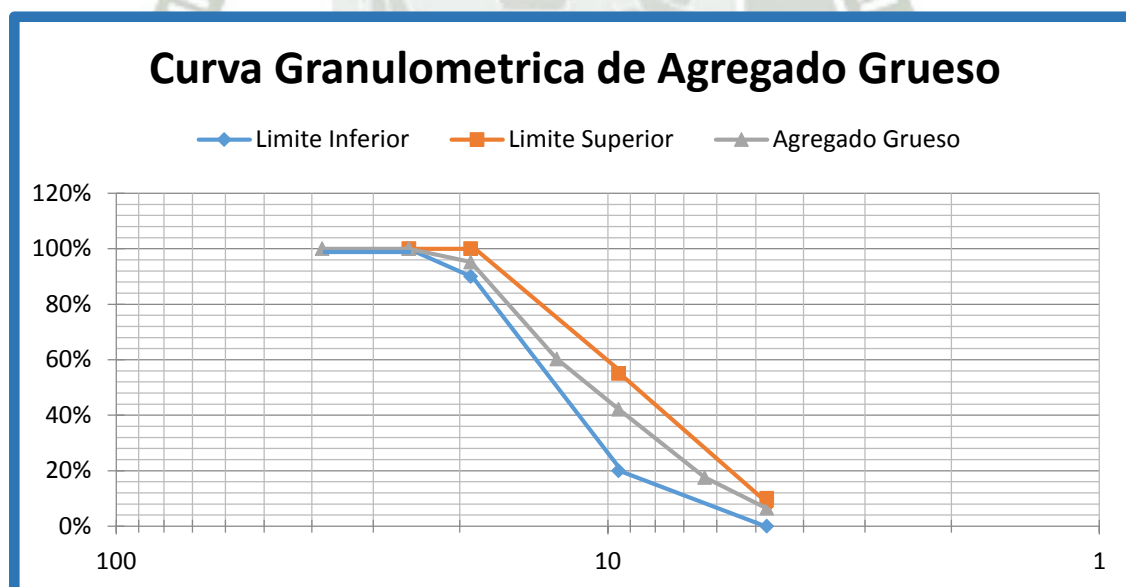


Grafico 2 Análisis Granulométrico de Agregado Grueso

- **Tamaño Máximo Nominal**

$$T.M.N. = 3/4"$$

- **Módulo de fineza**

Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas 3", 1½", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, todo esto dividido entre 100.

$$M.F. = \frac{\Sigma \%Ret. Acum. (3 + 1\frac{1}{2} + 3/4 + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

$$M.F. = \frac{\Sigma \%Ret. Acum. (4.79 + 57.86 + 93.56 + 98.39 + 99.55 + 100 + 100 + 100)}{100}$$

$$M.F. = 6.54$$

3.3.1.3 MAXIMA COMPACTACION DE LOS AGREGADOS

Este ensayo consiste en encontrar un porcentaje óptimo de proporción del agregado fino y grueso, y mediante pruebas variando dicha incidencia se encuentre una curva que describa el comportamiento del acomodo de las partículas de los agregados dentro de un volumen conocido, este ensayo se realiza con la finalidad de tomar la mejor incidencia para realizar los diseños.

MAXIMA COMPACTACION DE LOS AGREGADOS		
VOL. MOLDE	14.15	Lts
PESO DEL MOLDE	5.61	Kg

Arena rf %	Piedra rg %	Ensayos	Peso de los Agregados + molde Kg	Peso de los Agregados Kg	Peso Promedio de los Agregado s Kg	P.U.C. de la Combinación de los Agregados Kg/m3
0.38	0.62	P1	32.542	26.932	26.9193	1902.43
		P2	32.509	26.899		
		P3	32.537	26.927		
0.4	0.6	P4	32.854	27.244	27.2337	1924.64
		P5	32.838	27.228		
		P6	32.839	27.229		
0.42	0.58	P7	33.101	27.491	27.4947	1943.09
		P8	33.092	27.482		
		P9	33.121	27.511		
0.44	0.56	P10	33.437	27.827	27.7977	1964.50
		P11	33.407	27.797		
		P12	33.379	27.769		
0.46	0.54	P13	33.523	27.913	27.9067	1972.20
		P14	33.518	27.908		
		P15	33.509	27.899		
0.48	0.52	P16	33.303	27.693	27.6867	1956.65
		P17	33.296	27.686		
		P18	33.291	27.681		
0.5	0.5	P19	32.821	27.211	27.1973	1922.07
		P20	32.808	27.198		
		P21	32.793	27.183		
0.52	0.48	P22	32.213	26.603	26.2383	1854.30
		P23	32.127	26.517		
		P24	31.205	25.595		

Cuadro 3 Máxima Compactación de los Agregados

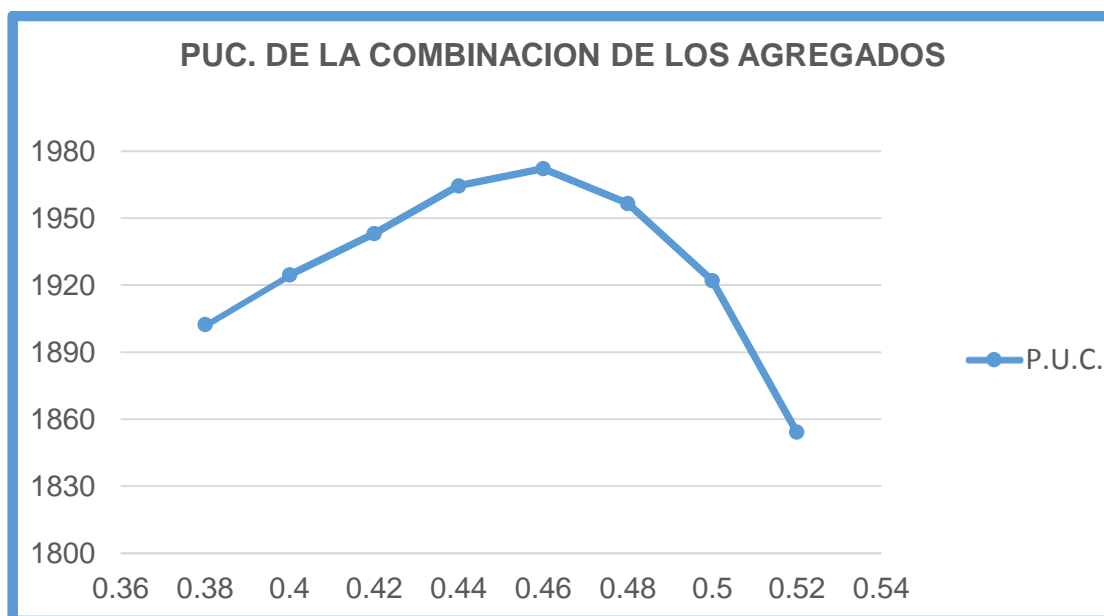


Grafico 3 Curva de la Máxima Compactación de los Agregados

ARENA (Rf %)	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%	52%
PIEDRA (Rg %)	62%	60%	58%	56%	54%	52%	50%	48%
PUC (Kg/m3)	1902.43	1924.64	1943.09	1964.50	1972.2	1956.65	1922.07	1854.3

Cuadro 4 Incidencia de los Agregados

En el cuadro muestra que el valor pico es cuando se utiliza un 46% de incidencia del agregado fino, el segundo valor es cuando se utiliza un 44% de incidencia, por razones de estudio en el diseño de mezcla se utilizara estas dos incidencias, de las cuales se escogerá la de mejor proporción, en cuanto a su resistencia a la compresión.

3.4 PASOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA

Con los datos calculados de las propiedades físicas de los agregados, se continuara con la secuencia de los diseños de mezcla, para lo cual se utilizó lo siguientes materiales: aditivos de la marca SIKA, cemento Yura Tipo I ya que al ser una tesis en donde la investigación es la adición de cenizas de carbón, se requiere un cemento portland, los agregados de la cantera la Poderosa.

Para una mejor evaluación se presenta un cuadro resumen:

Propiedades Físicas de Agregado - Cemento -Ceniza - Aditivos	Cemento Yura Tipo I	Piedra 3/4"	Arena	Ceniza	Agua	Visco. 1110 (SIKA)	Plast. TM 12 (SIKA)
Peso Específico (kg/m ³)	3150	2749	2648	2280	1000	1060	1170
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)		1456	1672				
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)		1654	1882				
Módulo de Fineza		6.5	2.96				
Absorción (%)		0.65	1.63				
Tamaño Máximo Nominal (TMN) plg		3/4"					

Con estos valores obtenidos de los diferentes ensayos realizados se procederá a realizar los diseños, se mostraran líneas más abajo.

3.4.1 MÉTODO DE DISEÑO

La distribución de las proporciones del concreto, implica un balance entre economía razonable y el requerimiento con ciertas características de acuerdo a la necesidad, así mismo dicho diseño debe considerar su tiempo de vida en el tiempo. Las características que debe tener un concreto son: su trabajabilidad, consistencia, resistencia, y durabilidad. En la siguiente investigación se tomara como base algunos parámetros de la secuencia de diseño por el comité ACI 211.1, pero con la diferencia de que para la distribución de los agregados se tomara proporciones tomadas por la máxima compactación de los agregados, por el método de ensayo de Peso Unitario Compactado de Agregado Global, para buscar la mejor combinación de los agregados en función de su propiedades físicas de cada uno de ellos.

Si bien es cierto el método del comité ACI 211.1 propone tablas de las cuales se podría hacer uso para la distribución de los agregados, estas muchas veces no cumplen con las necesidades y especificaciones que uno necesita, por lo que cada diseño debe ser manejado con criterio, siguiendo un instinto ingenieril de solución inmediata.

3.4.1.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLA

- El diseño debe cumplir con la calidad especificada y con todas las características y propiedades indicadas en los planos y especificaciones de obra.

- Para encontrar el diseño de mezcla adecuado para la investigación se tuvo dos etapas previas:
- Conocidos todos los valores para la proporción de los agregados se realizó dos diseños con $r_f = 0.44$ y $r_f = 0.46$, valores picos que se obtuvo del ensayo de la máxima compactación de los agregados, en ambos diseños no se consideró la adición de aditivos, sin embargo debido a la cantidad de cemento que estos diseños tienen, su mezclado no obtuvo una trabajabilidad esperada (los resultados se muestran en el capítulo IV), partiendo de estos **Diseños Patrón**, se realizó diseños en vacío, con la finalidad de buscar un porcentaje adecuado de adición a manera de buscar el Sump esperado, cuidando la descomposición de la mezcla (segregación).
- A pesar que se trabajó con la cantidad de agua que el comité ACI 211 recomienda, se llega a la conclusión que no necesariamente lo estipulado en las tablas del comité ACI, sea adecuado para todos los tipos de diseño.
- En todos los casos se mantuvo una relación $a/c=0.40$, la cual es objetivo de la investigación.

- Una vez realizado estas pruebas se procedió a realizar mezclas con aditivos, aditivo Viscocrete 1110 y Plastiment TM12, por lo que se realizó varias pruebas en vacío, hasta encontrar el porcentaje de incidencia de los aditivos en las mezclas.
- La cantidad encontrada es 0.74% del peso del cemento del superplastificante Viscocrete 1110 y 0.13 del retardante de fragua Plastiment TM12, el cual se mantuvo a lo largo de la investigación a manera de evaluar si desenvolvimiento en las distintas mezclas.
- Siendo una investigación de optimización del diseño de mezclas, se buscó la mínima cantidad de cemento requerida para llegar a la resistencia establecida, por lo que se realizó una curva **a/c vs $f'c$** , en la cual se probaron tres cantidades de cemento 410 kg/m³, 440 kg/m³ y 470 kg/m³, así mismo se realizaron dos pruebas de diseño con un $r_f = 44\%$ y $r_f = 46\%$, a manera de evaluar cuál de estos dos caminos es la que mejor resistencia a la compresión nos daba como resultado.

3.4.2 ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO

- Resistencia a la compresión: $F'c = 550 \text{ kg/cm}^2$
- Relación Agua/Cemento: $A/c = 0.40$
- Asentamiento: $7'' \pm 1 \frac{1}{2}''$
- Aire Atrapado: 2%
- Tamaño Máximo Nominal (TMN): $\frac{3}{4}''$

Para la secuencia del diseño patrón se siguió las especificaciones de diseño, teniendo un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " se utilizó la siguiente tabla:

Asentamiento	Agua en L/ m3, para TMN agregados y consistencias indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	--

Tabla 7 Volumen Unitario de Agua

- ✓ Donde se selecciona la cantidad de 216 lts de agua.
- ✓ Realizando cálculos se tiene:
 - $A/c = 0.40$ y agua 216 lts,
- ✓ Cantidad de Cemento = cantidad de agua / a/c
 - $216/0.40 \Rightarrow 540$ kg/m3 de cemento
- ✓ De tablas se estima el porcentaje de aire atrapado para el diseño

TMN del Agregado Grueso	Aire Atrapado
3/8"	3.0
1/2"	3.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Tabla 8 Contenido de Aire Atrapado

- ✓ Para la distribución de las proporciones de los agregados se utilizó el siguiente principio:

$$rf = \frac{\text{Peso de Agregado Fino}}{\text{Peso de los Agregados}} \dots \text{(a)}$$

- ✓ Se conoce que:

❖ $\gamma = \frac{W}{V}$, por lo que

❖ $W = \gamma * V \dots \text{(b)}$

- γ = Peso específico
- W = Peso
- V = Volumen

- ✓ Reemplazando **b** en **a**:

$$rf = \frac{\gamma_{are} * V_{are}}{\gamma_{pie} * V_{pie} + \gamma_{are} * V_{are}} \dots \text{(c)}$$

- ✓ Para el cálculo de los agregados se conoce que:

❖ $V_{agre} = V_{are} + V_{pie}$

❖ $V_{pie} = V_{agre} - V_{are} \dots \text{(d)}$

- V_{are} = Volumen de Arena
- V_{pie} = Volumen de Piedra
- V_{agre} = Volumen de Agregados

- ✓ Despejando **d** en **c**:

$$rf * ((\gamma_{pie} * V_{pie}) + (\gamma_{are} * V_{are})) = \gamma_{are} * V_{are}$$

$$rf * ((\gamma_{pie} * (V_{agre} - V_{are})) + (\gamma_{are} * V_{are})) = \gamma_{are} * V_{are}$$

$$rf * (\gamma_{pie} * V_{agre} - \gamma_{pie} * V_{are} + \gamma_{are} * V_{are}) = \gamma_{are} * V_{are}$$

$$rf * \gamma_{pie} * V_{agre} - rf * \gamma_{pie} * V_{are} + rf * \gamma_{are} * V_{are} = \gamma_{are} * V_{are}$$

$$rf * \gamma_{pie} * V_{agre} - rf * \gamma_{pie} * V_{are} + rf * \gamma_{are} * V_{are} = \gamma_{are} * V_{are}$$

$$rf * \gamma_{pie} * V_{agre} = rf * \gamma_{pie} * V_{are} - rf * \gamma_{are} * V_{are} + \gamma_{are} * V_{are}$$

$$rf * \gamma_{pie} * V_{agre} = V_{are}(rf * \gamma_{pie} - rf * \gamma_{are} + \gamma_{are})$$

$$rf * \gamma_{pie} * V_{agre} = V_{are}(rf(\gamma_{pie} - \gamma_{are}) + \gamma_{are})$$

$$\frac{rf * \gamma_{pie} * V_{agre}}{rf(\gamma_{pie} - \gamma_{are}) + \gamma_{are}} = V_{are}$$

✓ Volumen de Cemento

$$\diamond V_{cmto} = \frac{W_{cmto}}{\gamma_{cmto}}$$

- W_{cmto} = Peso de Cemento (Kg)
- γ_{cmto} = Peso Específico de Cemento (Kg/m³)
- V_{cmto} = Volumen de Cemento (m³)

✓ Volumen de Agua

$$\diamond V_a = \frac{W_a}{\gamma_a}$$

- W_a = Peso de Agua (Kg)
- γ_{cmto} = Peso Específico de Agua (Kg/m³)
- V_a = Volumen de Agua (m³)

✓ Volumen de Aire Atrapado

$$\diamond V_{aatr} = \frac{\% \text{ Aire Atrapado}}{100\%}$$

- V_{aatr} = Volumen de aire atrapado (%)

✓ Volumen de los Agregados

$$\diamond V_{agre} = 1 - (V_{cmto} + V_a + V_{aatr})$$

- V_{cmto} = Volumen de Cemento (m³)
- V_a = Volumen de Agua (m³)
- V_{aatr} = Volumen de aire atrapado (%)

Conocida la ecuación que nos permitirá calcular el peso de los agregados, procedemos a reemplazar, usando una incidencia de arena de 0.44y 0.46, después del cálculo realizamos una diferencia de volúmenes de agregados con el agregado fino para obtener el volumen del agregado grueso.

$$V_{pie} = V_{agre} - V_{are}$$

- V_{pie} : Volumen de piedra (m³).
- V_{agre} : Volumen total de los agregados (m³).
- V_{are} : Volumen de Arena (m³).

$$w_{pie} = \gamma_{pie} * V_{pie}$$

- w_{pie} : Peso de Arena (Kg).
- γ_{pie} : Peso específico de la arena (Kg/m³).
- V_{pie} : Volumen de Arena (m³)

3.4.3 SECUENCIA DE DISEÑOS DE MEZCLA

Descrita las ecuaciones utilizadas para la elaboración de las mezclas se procederá a mostrar los pasos para encontrar las dosificaciones, como modelo de ejemplo se tomara un diseño donde se utilizó una cantidad de 440 kg/m³.

- Resistencia a la compresión: $F'c = 550 \text{ kg/cm}^2$
- Relación Agua/Cemento: $A/c = 0.40$

- $R_f = 0.46$
- Asentamiento: 7" +- 1 ½"
- Aire Atrapado: 2%
- Tamaño Máximo Nominal (TMN): 3/4"
- Humedad del agregado
- Cantidades de aditivo.
 - Viscocrete 0.74% del peso del cemento
 - Plastiment TM12 0.13% del peso del cemento

1. Cálculo de la cantidad de agua de amasado

Como $a/c = 0.40$ y se conoce la cantidad de cemento a utilizar se procede a calcular:

Cantidad de Agua = $0.40 * 440 = 176$ Lts.

2. Volumen de aire atrapado

$$\diamond V_{aatr} = \frac{2\%}{100\%} = 0.02 \text{ m}^3$$

3. Volumen del cemento

$$\diamond V_{cmto} = \frac{440}{3150} = 0.1397$$

4. Volumen de los agregados

$$\diamond V_{agre} = 1 - (V_{cmto} + V_a + V_{aatr})$$

$$\diamond V_{agre} = 1 - (0.1397 + 0.176 + 0.02) = 0.6643 \text{ m}^3$$

5. Volumen y Peso de la arena

$$V_{are} = \frac{rf * \gamma_{pie} * V_{agre}}{rf(\gamma_{pie} - \gamma_{are}) + \gamma_{are}}$$

$$V_{are} = \frac{0.46 * 2749 * 0.6643}{0.46(2749 - 2648) + 2648}$$

$$V_{are} = 0.3118 \text{ m}^3$$

$$w_{are} = \gamma_{are} * V_{are}$$

$$w_{are} = 2648 * 0.3118 = 825.54 = 826 \text{ kg}$$

6. Volumen y Peso de la Piedra

$$V_{pie} = V_{agre} - V_{are}$$

$$V_{pie} = 0.6643 - 0.3118 = 0.3525 \text{ m}^3$$

$$w_{pie} = 2749 * 0.3525 = 969.02 = 969 \text{ Kg}$$

7. Calculo de los aditivos

Para el cálculo del Viscocrete 1110 se realizaron pruebas en vacío como se describió líneas arriba, por lo que la incidencia quedo marcada con 0.74% del peso del cemento, y para el Plastiment TM12 al 0.13 del peso del cemento, por lo que se presenta el siguiente cálculo:

- $440 * 0.074 = 3.256 \text{ kg / m}^3$
- $440 * 0.013 = 0.572 \text{ kg / m}^3$

- Como resumen se presenta el siguiente cuadro con cantidades en pesos superficialmente secos:

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %
Cemento	440	
Arena	826	0.65
Piedra	969	1.63
Agua	176	
Viscocrete 1110	3.26	
Plastiment TM 12	0.57	

- Se realizó mezclas en distintos días por lo que se tuvo que realizar la corrección por humedad los distintos días de trabajo, como ejemplo se tomara un día cualquiera con una humedad de trabajo real.

Materiales	DISEÑO SELECCIONADO			
	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	440			540
Arena	826	0.65	0.31	823
Piedra	969	1.63	4.65	998
Agua	176			150
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

- Las proporciones en volumen para las dosificaciones de los materiales serían las siguientes:
 - Cemento: $440 / 440 = 1$
 - Arena: $826 / 440 = 1.88$
 - Piedra: $969 / 440 = 2.20$
 - Agua: $176 / 440 = 0.40$
- Para calcular la cantidad de Materiales por tanda bastara multiplicar la cantidad de cemento usado en cada tanda por lo valores indicados:
 - Cemento: $1 \times 42.5 = 42.5 \text{ Kg}$
 - Arena: $1.88 \times 42.5 = 79.78 \text{ Kg}$
 - Piedra: $2.20 \times 42.5 = 93.60 \text{ Kg}$
 - Agua: $0.40 \times 42.5 = 17 \text{ lts}$
 - Viscocrete 1110: $0.74\% \times 42.5 \text{ Kg} = 0.31 \text{ Kg}$
 - Plastiment TM 12: $0.13\% \times 42.5 \text{ Kg} = 0.06 \text{ Kg}$

La dosificación en volumen considerando los Pesos Unitarios Suelto (PUS), serían los siguientes:

- Cemento: $42.5 \text{ kg} = 1 \text{ pie}^3$
- Arena: $79.78 \text{ kg} \times 35.31 / 1672 = 1.68 \text{ pie}^3$
- Piedra: $93.60 \text{ kg} \times 35.31 / 1456 = 2.27 \text{ pie}^3$
- Agua: 17 lts
- Viscocrete 1110: $0.31 \text{ Kg} / 1.06 \times 1000 \text{ ml} = 297 \text{ ml}$
- Plastiment TM 12: $0.06 \text{ Kg} / 1.17 \times 1000 \text{ ml} = 47 \text{ ml}$

3.5 PRESENTACIÓN DE DISEÑOS ELABORADOS

Con los procedimientos mostrados anteriormente se procedieron a realizar los cálculos para todas las dosificaciones de las mezclas, cabe resaltar que el manejo de los aditivos es un manejo de mucho criterio, es decir se deben de realizar prueba en vacío, puesto que muchas veces el fabricante sugiere rangos para su uso, sin embargo este depende mucho de las características del cemento.

Así mismo para la selección de un diseño adecuado para el estudio, se realizó sin aditivos siguiendo los pasos descritos líneas arriba, en ambos diseños se tuvo que aumentar 100 ml en $rf=0.44$ y 140 ml en $rf=0.46$, ya que por la cantidad de cemento que tienen estos diseño no se pudieron mezclar de una manera adecuado, en el momento de realizar el muestreo el diseño con la incidencia de arena del 44%, produjo cangrejas, por lo que no se ensayaron las probetas, ya que sería ofrecer un valor que no es real, seguidamente y con los resultados obtenidos, se procedió a realizar una curva de cantidades de cemento vs resistencia a la compresión, por lo que se tomó tres cantidades de cemento 410 kg/m³, 440 kg/m³, 470 kg/m³, con ambas incidencias de agregado fino ($rf=0.44$, $rf=0.46$), para luego con estos diseños seleccionar el diseño que mejor se acomode a las especificaciones que se planteó para la investigación

En los siguientes cuadros se describe los diseños realizados, y líneas más abajo se realizara la presentación donde se muestra el diseño que mejor se acomodó para las especificaciones requeridas

MATERIALES	D.SIN ADITIVO	D.SIN ADITIVO	D. RF=0.44			D. RF=0.46			D. RF=0.46			
			410	440	470	410	440	470	10%	15%	20%	25%
Cemento	540	540				410	440	470	396	374	352	330
Ceniza de Carbón	-	-	-	-	-	-	-	-	44	66	88	110
Volumen de Cemento	0.171	0.171	0.130	0.140	0.149	0.130	0.140	0.149	0.126	0.119	0.112	0.105
Volumen Ceniza de Carbón	-	-	-	-	-	-	-	-	0.019	0.029	0.039	0.048
a/c	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Volumen de Agua (m3)	0.216	0.216	0.164	0.176	0.188	0.164	0.176	0.188	0.176	0.176	0.176	0.176
Volumen de Aire Atrapado (%)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Sumatoria	0.407	0.407	0.314	0.336	0.357	0.314	0.336	0.357	0.341	0.344	0.346	0.349
Rf	0.44	0.46	0.44	0.44	0.44	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Volumen Arena	0.266	0.278	0.308	0.298	0.289	0.322	0.312	0.302	0.309	0.308	0.307	0.306
Volumen Piedra	0.326	0.314	0.378	0.366	0.354	0.364	0.353	0.341	0.350	0.348	0.347	0.345
W. Arena	705	736	816	790	765	852	826	799	819	816	812	809
W. Piedra	897	864	1038	1006	973	1001	969	938	961	957	954	950

Cuadro 5 Presentación de Diseños Elaborados

D. RF=0.46															
MATERIALES	D.SIN ADITIVO	D.SIN ADITIVO	D. RF=0.44					D. RF=0.46			10%	15%	20%	25%	
			410	440	470	410	440	470	410	440					470
Cemento (Kg)	540	540	410	440	470	410	440	470	410	440	470	396	374	352	330
Ceniza de Carbón (Kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	66	88	110
W. Arena (Kg)	705	736	816	790	765	852	826	799	819	816	812	819	816	812	809
W. Piedra (Kg)	897	864	1038	1006	973	1001	969	938	961	957	954	961	957	954	950
Agua (lts)	216	216	164	176	188	164	176	188	176	176	176	176	176	176	176
Viscocrete 1110 (kg)	-	-	3.03	3.26	3.48	3.03	3.26	3.48	3.26	3.26	3.48	3.26	3.26	3.26	3.26
Plastiment TM 12 (Kg)	-	-	0.53	0.57	0.61	0.53	0.57	0.61	0.57	0.57	0.61	0.57	0.57	0.57	0.57
TANDAS POR PIE CUBICO															
Cemento (pie3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.85	0.80	0.75
Ceniza de Carbón (pie 3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	0.15	0.20	0.25
W. Arena (pie3)	1.17	1.22	1.79	1.61	1.46	1.87	1.68	1.53	1.67	1.66	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65
W. Piedra (pie3)	1.71	1.65	2.61	2.36	2.13	2.52	2.27	2.06	2.25	2.24	2.23	2.25	2.24	2.23	2.23
Agua (lts)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Viscocrete 1110 (ml/bls)	-	-	297	297	297	297	297	297	297	297	297	297	297	297	297
Plastiment TM 12 (ml/bls)	-	-	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47

- ✓ Para mayor detalle se presenta los siguientes con cuadros donde se podrá apreciar mejor cada diseño elaborado.
- **Diseño por metro cubico sin aditivo $r_f = 0.44$**

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	540			540
Piedra	897	0.65	0.28	894
Arena	705	1.63	4.32	724
Agua	216			200

Cuadro 6 Diseño de Mezcla Convencional $r_f = 0.44$

- **Diseño por metro cubico sin aditivo $r_f = 0.46$**

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	540			540
Piedra	864	0.65	0.28	861
Arena	736	1.63	4.32	756
Agua	216			199

Cuadro 7 Diseño de Mezcla Convencional $r_f = 0.46$

- Diseño con aditivo $r_f = 0.44$, 410 kg de cemento por metro cubico

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	410			540
Arena	816	0.65	0.21	812
Piedra	1038	1.63	4.05	1064
Agua	164			142
Viscocrete 1110	3.03			3.03
Plastiment TM 12	0.53			0.53

Cuadro 8 Diseño de Mezcla $r_f = 0.44$, 410 Kg/m³ de Cemento

- Diseño con aditivo $r_f = 0.44$, 440 kg de cemento por metro cubico

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	440			540
Arena	790	0.65	0.21	787
Piedra	1006	1.63	4.05	1030
Agua	176			155
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

Cuadro 9 Diseño de Mezcla $r_f = 0.44$, 440 Kg/m³ de Cemento

- Diseño con aditivo $rf = 0.44$, 470 kg de cemento por metro cubico

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	470			540
Arena	765	0.65	0.25	762
Piedra	973	1.63	4.81	1004
Agua	188			160
Viscocrete 1110	3.48			3.48
Plastiment TM 12	0.61			0.61

Cuadro 10 Diseño de Mezcla $rf=0.44$, 470 Kg/m³ de Cemento

- Diseño con aditivo $rf = 0.46$, 410 kg de cemento por metro cubico

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	410			540
Arena	852	0.65	0.31	849
Piedra	1001	1.63	4.65	1031
Agua	164			137
Viscocrete 1110	3.03			3.03
Plastiment TM 12	0.53			0.53

Cuadro 11 Diseño de Mezcla $rf=0.46$, 410 Kg/m³ de Cemento

- Diseño con aditivo $r_f = 0.46$, 440 kg de cemento por metro cubico

Materiales	Peso SSS (Kg)	DISEÑO SELECCIONADO		
		Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	440			540
Arena	826	0.65	0.31	823
Piedra	969	1.63	4.65	998
Agua	176			150
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

Cuadro 12 Diseño de Mezcla $r_f = 0.46$, 440 Kg/m³ de Cemento

- Diseño con aditivo $r_f = 0.46$, 470 kg de cemento por metro cubico

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	470			540
Arena	799	0.65	0.34	796
Piedra	938	1.63	4.5	965
Agua	188			164
Viscocrete 1110	3.48			3.48
Plastiment TM 12	0.61			0.61

Cuadro 13 Diseño de Mezcla $r_f = 0.46$, 470 Kg/m³ de Cemento.

- Diseño con aditivo $r_f = 0.46$, 440 kg de cemento por metro cubico, empleando Cenizas de Carbón 10%

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	396			540
Ceniza de Carbón 10%	44			44
Arena	819	0.65	0.33	816
Piedra	961	1.63	4.42	988
Agua	158.4			134
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

Cuadro 14 Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 10%

- Diseño con aditivo $r_f = 0.46$, 440 kg de cemento por metro cubico, empleando Cenizas de Carbón 15%

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	374			540
Ceniza de Carbón 15%	66			
Arena	816	0.65	0.33	813
Piedra	957	1.63	4.43	984
Agua	149.6			125
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

Cuadro 15 Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 15%

- Diseño con aditivo $r_f = 0.46$, 440 kg de cemento por metro cubico, empleando Cenizas de Carbón 20%

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	352			540
Ceniza de Carbón 20%	88			
Arena	812	0.65	0.31	810
Piedra	954	1.63	4.21	978
Agua	140.8			119
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

Cuadro 16 Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 20%

- Diseño con aditivo $r_f = 0.46$, 440 kg de cemento por metro cubico, empleando Cenizas de Carbón 20%

Materiales	Peso SSS (Kg)	Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	330			540
Ceniza de Carbón 25%	110			
Arena	809	0.65	0.3	806
Piedra	950	1.63	4.56	978
Agua	132			107
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

Cuadro 17 Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 25%

3.6 SELECCIÓN DE DISEÑO OPTIMO

Realizadas las diferentes mezclas mostrados líneas arriba, se procederá a escoger un diseño óptimo el cual debe cumplir con los requerimientos especificados es decir:

- Slump 7 +- 1 1/2"
- Resistencia mínima de 550 Kg/cm²

Con las pruebas realizadas en laboratorio es decir: Slump, Resistencia a la compresión y demás pruebas adicionales; se seleccionó el diseño que emplea 440 Kg/m³ de cemento ya que este diseño proporciona las cualidades necesarias para seguir con la investigación, cabe resaltar que las cantidades de cemento en los diseños son un punto clave para la selección del diseño óptimo, ya que al tratarse de una tesis de optimización, debe de seleccionarse con mucho criterio, pues un diseño de mezcla debe tener en cuenta un porcentaje de resistencia superior a la requerida, esto como un margen de seguridad, pues en muchas situaciones a pesar de los cuidados en la calidad del diseño, puede presentarse situaciones que pueden modificar las cantidades de los agregados, como el poco control de la humedades en obra, este como se demostró en cuadros superiores modifica las cantidades de los agregados y la cantidad de agua.

Así también se utilizó una sola incidencia de la arena, como se planteó en la tesis, se realizaron pruebas con ambas incidencias ($r_f=0.44$ y $r_f=0.46$), sin embargo el $r_f=0.44$ al presentar poca cantidad de arena, se vio una mezcla muy pedregosa, por lo que al aumentar la incidencia de la arena

($rf=0.46$) y con las partículas finas de la ceniza de carbón se consiguió una mezcla homogénea muy trabajable, que a simple vista no se podía identificar el agregado grueso, que según varios autores se hace mención que una mezcla de buenas características es aquella en donde a simple vista no se puede identificar el agregado grueso, pues una característica del mortero debe ser la de recubrir como una capa al agregado grueso.

También se puede acotar que el asentamiento obtenido con este diseño fue de $81/2''$, la cual se encuentra en el rango de lo especificado, se puede acotar que una mezcla puede tener un margen de Slump adicional por un tema de traslado, ya que normalmente el punto donde se realiza las dosificación de la mezcla se encuentra alejada del punto donde se realizara la colocación del concreto.

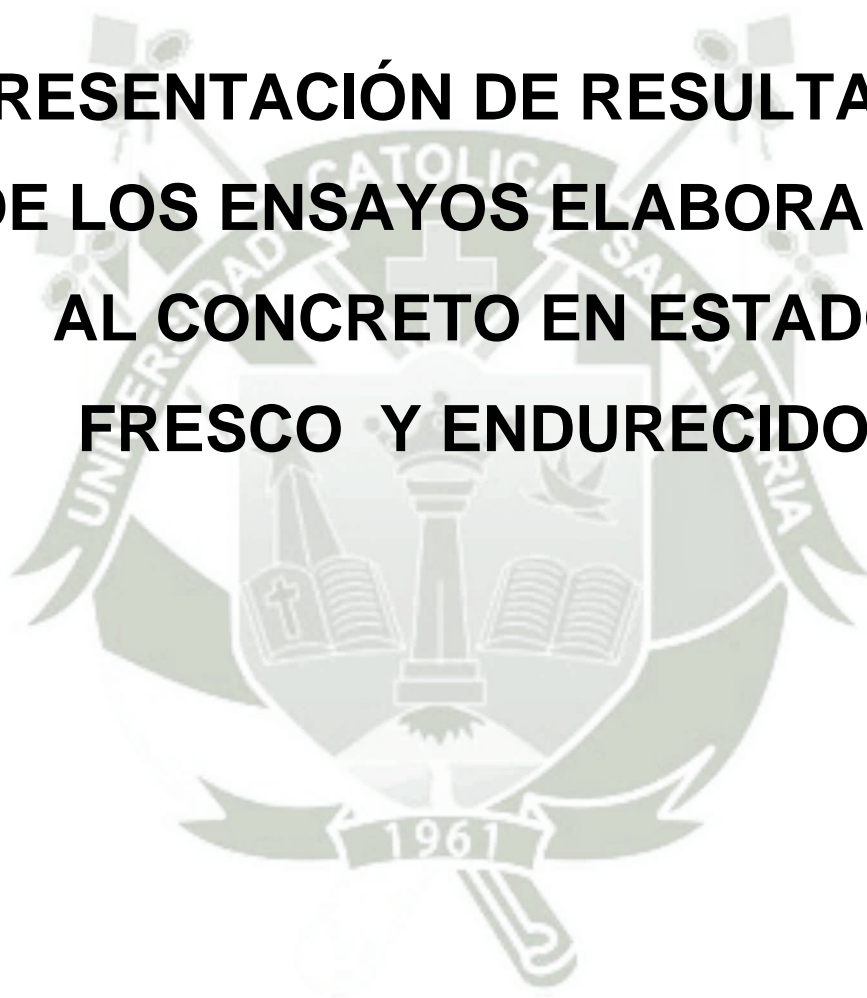
Para una mejor visualización de este punto en el capítulo IV se presentaran resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio.

- **Diseño con aditivo $rf = 0.46$, 440 kg de cemento por metro cubico**

Materiales	Peso SSS (Kg)	DISEÑO SELECCIONADO		
		Abs. %	Hum. %	Peso corregido (kg)
Cemento	440			540
Arena	826	0.65	0.31	823
Piedra	969	1.63	4.65	998
Agua	176			150
Viscocrete 1110	3.26			3.26
Plastiment TM 12	0.57			0.57

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ELABORADOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.



CAPITULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ELABORADOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.

4.1 ELABORACIÓN Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

En este capítulo se presentará todos los resultados obtenidos de los ensayos realizados, es decir los ensayos de concreto en estado fresco: asentamiento, temperatura, peso unitario, tiempo de Fragua; resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y contracción por secado

4.1.1 ASENTAMIENTO

- **Presentación de Diseños sin Cenizas de Carbón, Empleando Aditivos**

	RF=0.44		
NOMENCLATURA	M1	M2	M3
CANTIDADA DE CEMENTO KG/M3	410	440	470
ASENTAMIENTO PLG.	5 3/4"	7 1/2"	9 3/4"
VISCOCRETE	0.74%	0.74%	0.74%
PLASTIMENT TM12	0.13%	0.13%	0.13%

Cuadro 18 Asentamiento de Diseños Con Aditivos, rf=0.44

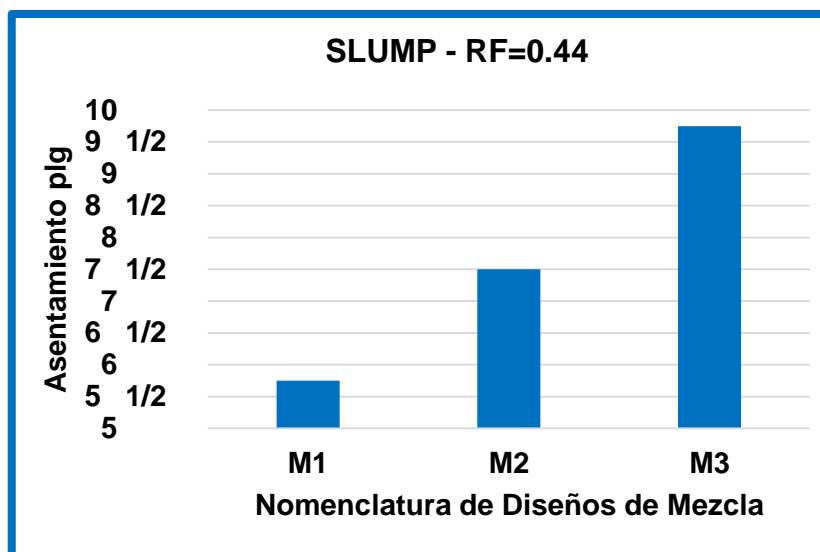


Grafico 4 Asentamiento de Diseños con Aditivos, rf=0.44

	RF=0.46		
NOMENCLATUTRA	M4	M5	M6
CANTIDADA DE CEMENTO KG/M3	410	440	470
ASENTAMIENTO PLG.	7 1/2 "	8 1/2"	10"
VISCOCRETE	0.74%	0.74%	0.74%
PLASTIMENT TM12	0.13%	0.13%	0.13%

Cuadro 19 Asentamiento de Diseños con Aditivos, rf=0.46

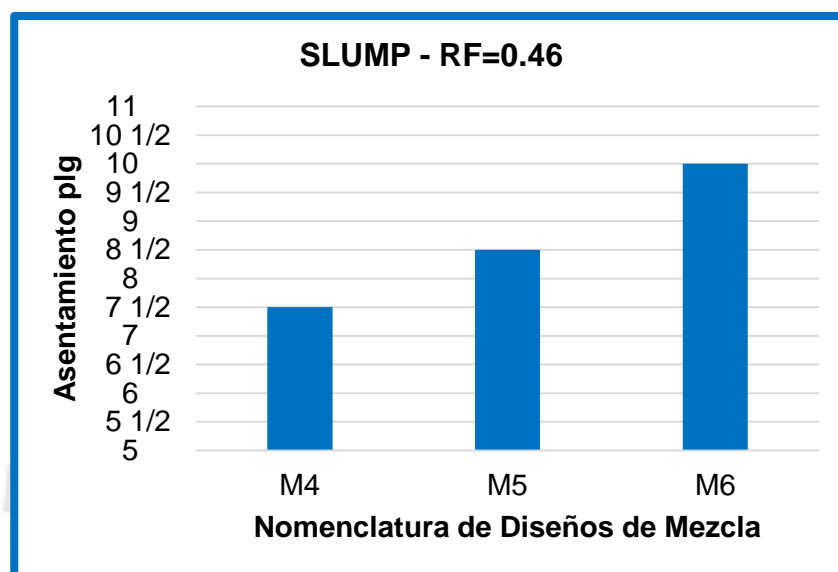


Grafico 5 Asentamiento de Diseños con Aditivos, rf=0.46

- **Cuadro Comparativo de Asentamiento**

CANTIDAD DE CEMENTO KG/M3	410	440	470
ASENTAMIENTO PLG. RF=0.46	5 3/4"	7 1/2"	9 3/4"
ASENTAMIENTO PLG. RF=0.46	7 1/2 "	8 1/2"	10"
VISCOCRETE	0.74%	0.74%	0.74%
PLASTIMENT TM12	0.13%	0.13%	0.13%

Cuadro 20 Comparación de Asentamientos, rf=0.44 Vs rf=0.46

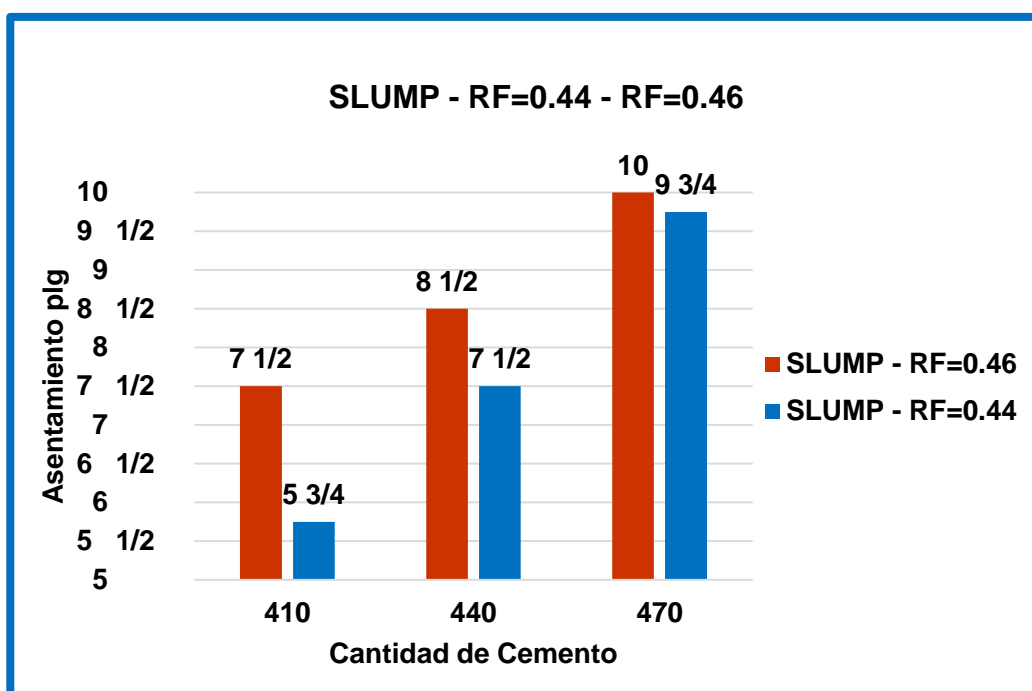


Grafico 6 Comparación de Asentamientos, rf=0.44 Vs rf=0.46

- Asentamiento de Diseños con Ceniza de Carbón, rf=0.46, 440 kg/m³

DISEÑO	ASENTAMIENTO	VISCOCRETE 1110	PLASTIMENT TM12	a/c
D. OPTIMO	8 1/2	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 10%	8	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 15%	7 1/2	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 20%	7	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 25%	5 1/2	0.74%	0.13%	0.40

Cuadro 21 Asentamiento de Diseño de Estudio

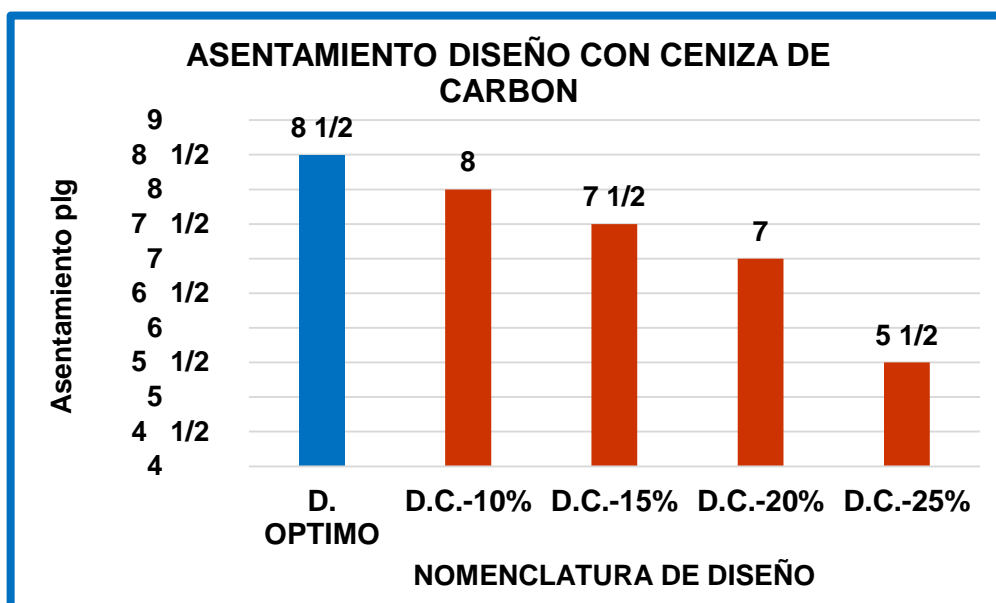


Grafico 7 Asentamiento de Diseño de Estudio.

4.1.2 TEMPERATURA DEL CONCRETO

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto. Sin el control de la temperatura del concreto, predecir su comportamiento es muy difícil. Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías. La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida. Por el contrario, el concreto colado y curado a temperaturas bajas desarrollará su resistencia a una tasa más lenta, pero finalmente tendrá una resistencia más alta y será de mayor calidad. La temperatura del concreto se usa para indicar el tipo de curado y

protección que se necesitará, así como el lapso de tiempo en que deben mantenerse el curado y la protección

Para controlar la temperatura del concreto se debe colocar el dispositivo para medir la temperatura en el concreto de modo que la porción sensible esté sumergida al menos 3 pulgadas [75 mm]. Presione suavemente el concreto alrededor del dispositivo para medir la temperatura de modo que la temperatura del aire ambiente (afuera) no influya en la temperatura medida. Deje el dispositivo para medir la temperatura del concreto por un mínimo de 2 minutos, o hasta que la lectura se estabilice. Lea y registre la temperatura del concreto fresco al 1 °F [0.5 °C] más próximo mientras que el dispositivo para medir la temperatura está en el concreto. Se debe medir la temperatura cinco minutos después de obtener la muestra de concreto.

	RF=0.44		
NOMENCLATUTRA	M1	M2	M3
CANTIDADA DE CEMENTO KG/M3	410	440	470
TEMPERATURA DEL CONCRETO	23.40	23.70	24,20
VISCOCRETE	0.74%	0.74%	0.74%
PLASTIMENT TM12	0.13%	0.13%	0.13%

Cuadro 22 Temperatura del Concreto, rf=0.44

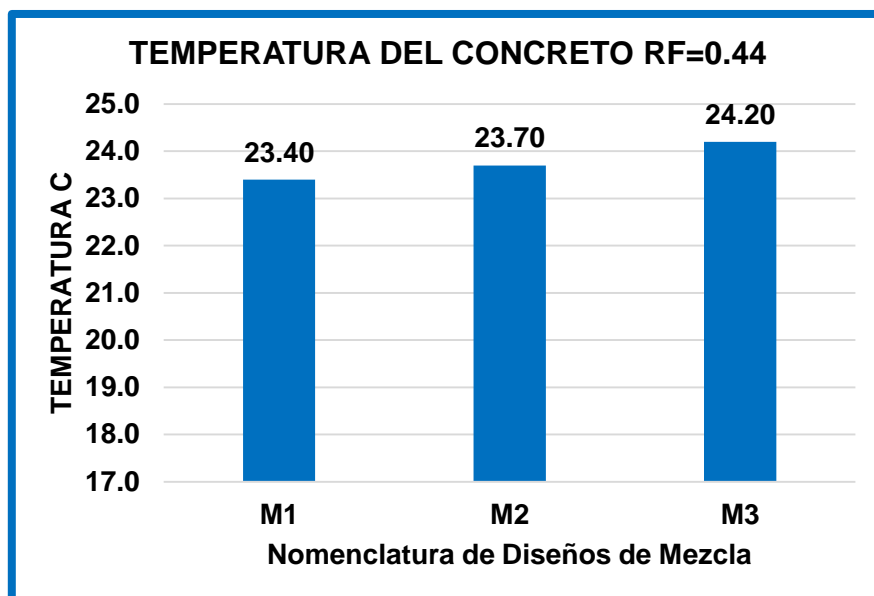


Grafico 8 Temperatura del Concreto, rf=0.44

	RF=0.46		
NOMENCLATUTRA	M4	M5	M6
CANTIDADA DE CEMENTO KG/M3	410	440	470
TEMPERATURA DEL CONCRETO	26.30	22.80	22.00
VISCOCRETE	0.74%	0.74%	0.74%
PLASTIMENT TM12	0.13%	0.13%	0.13%

Cuadro 23 Temperatura del Concreto, rf=0.46

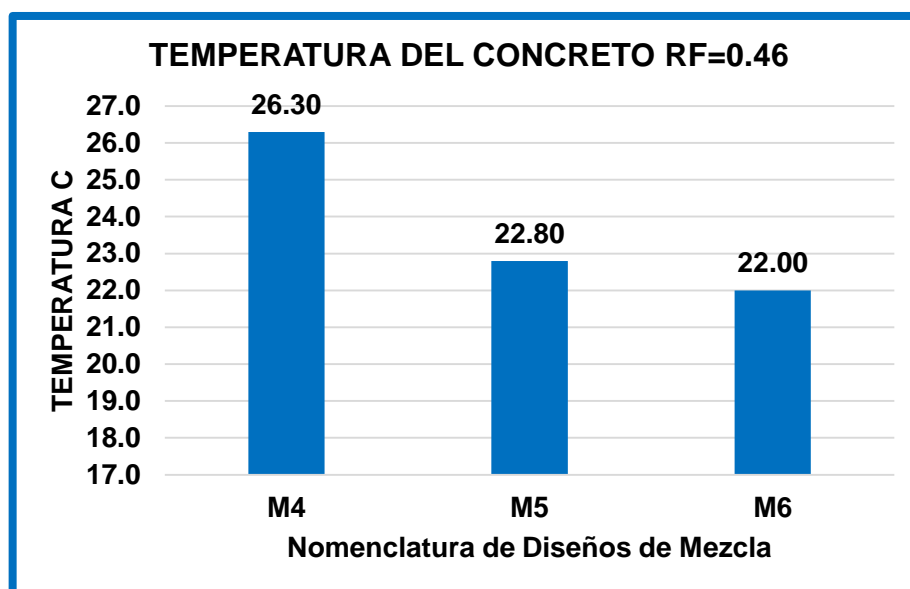


Grafico 9 Temperatura del Concreto, rf=0.46

- Temperaturas del concreto, Diseños con Ceniza de Carbón, rf=0.46, 440 kg/m³

DISEÑO	TEMP. AMBIENTE	TEMP. DEL CONCRETO	VISCOCRETE 1110	PLASTIMENT TM12	a/c
D. OPTIMO	25.9	24.4	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 10%	26.3	28.3	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 15%	21.5	25.6	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 20%	18.77	21.6	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 25%	19.2	23.1	0.74%	0.13%	0.40

Cuadro 24 Temperatura del Concreto de Estudio

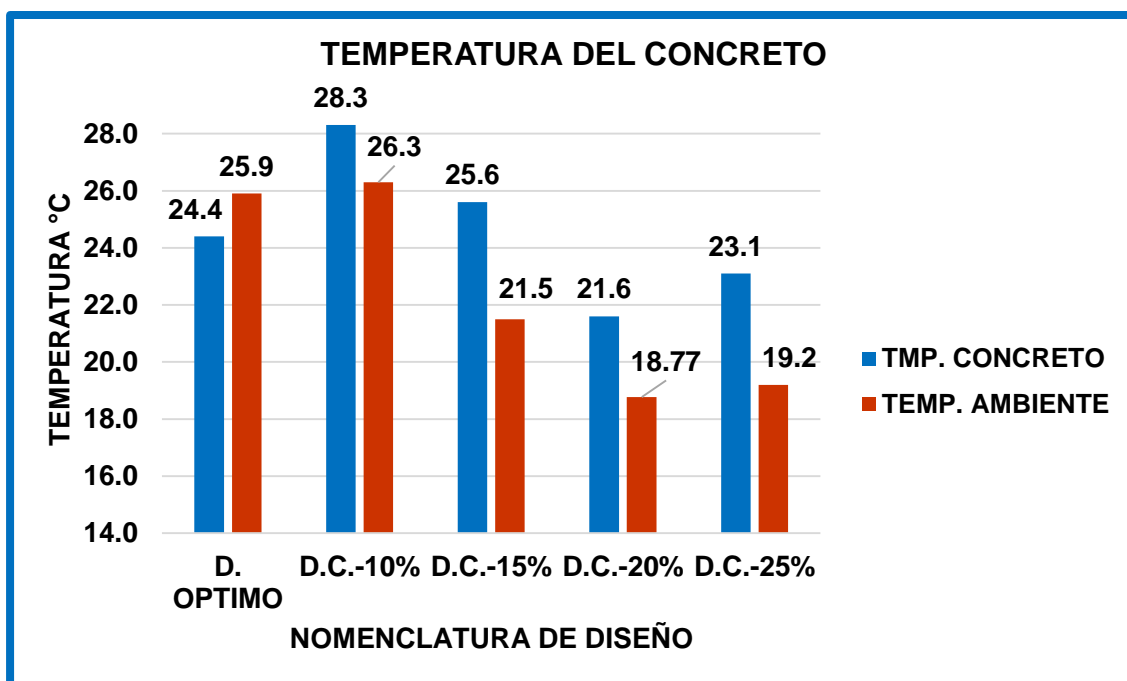


Grafico 10 Temperatura del Concreto de Estudio

4.1.3 CONTANIDO DE AIRE Y PESO UNITARIO

	RF=0.44		
NOMENCLATUTRA	M1	M2	M3
CANTIDADA DE CEMENTO KG/M3	410	440	470
CONTENIDO DE AIRE (%)	2.1%	2%	1.9%
PESO UNITARIO (Kg/m3)	2455	2434	2433
VISCOCRETE	0.74%	0.74%	0.74%
PLASTIMENT TM12	0.13%	0.13%	0.13%

Cuadro 25 Contenido de Aire y Peso Unitario rf=0.44

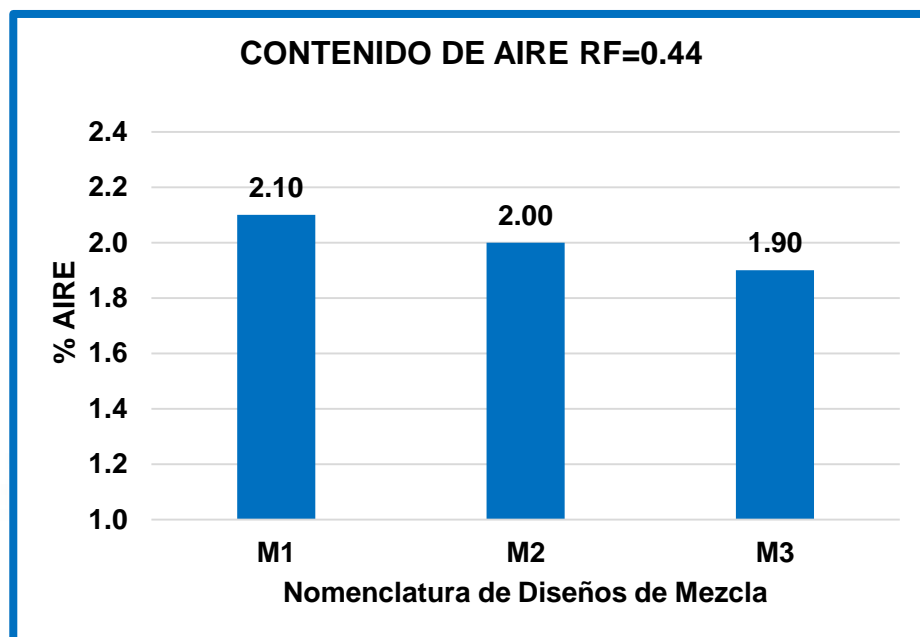


Grafico 11 Contenido de Aire rf=0.44

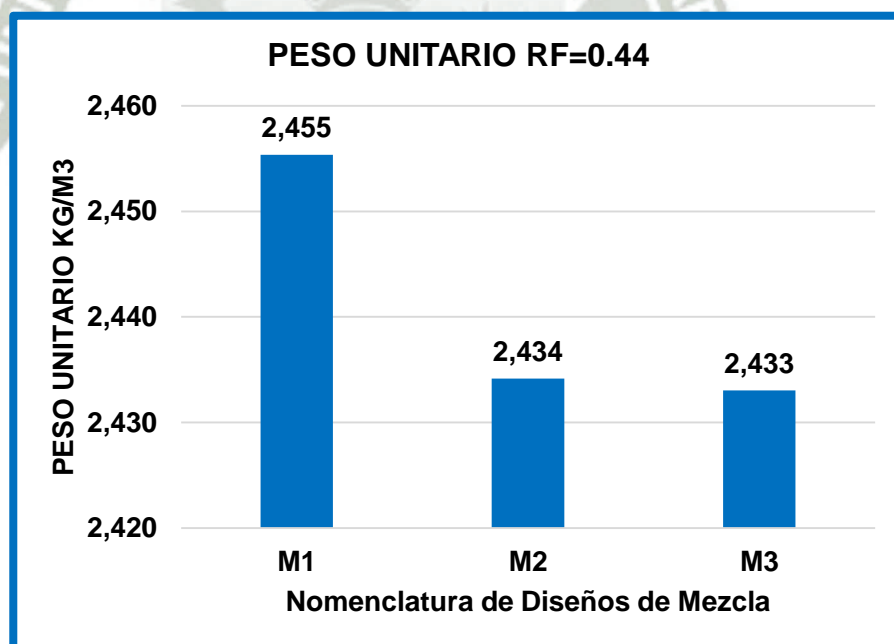


Grafico 12 Peso Unitario rf=0.44

	RF=0.46		
NOMENCLATUTRA	M1	M2	M3
CANTIDADA DE CEMENTO KG/M3	410	440	470
CONTENIDO DE AIRE (%)	2.0%	2%	1.7%
PESO UNITARIO (Kg/m3)	2443	2439	2434
VISCOCRETE	0.74%	0.74%	0.74%
PLASTIMENT TM12	0.13%	0.13%	0.13%

Cuadro 26 Contenido de Aire y Peso Unitario rf=0.46

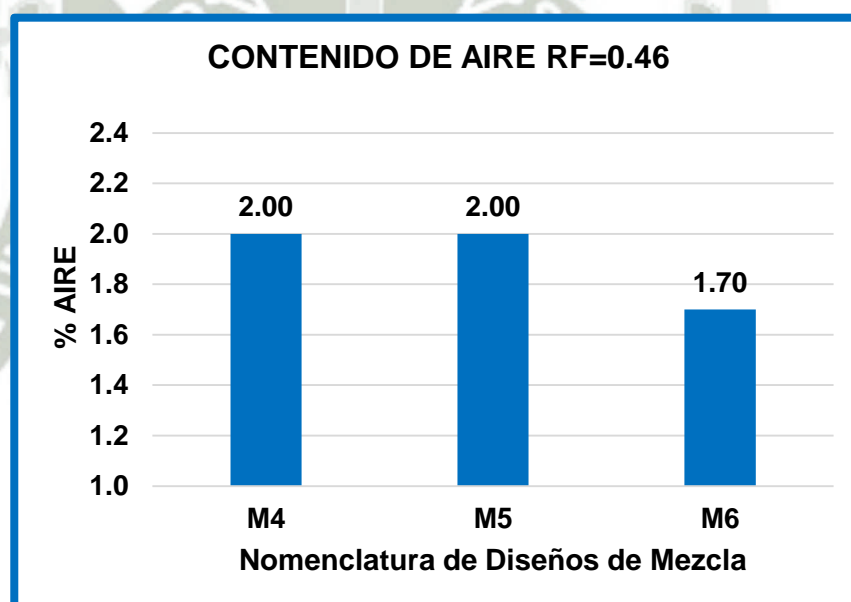


Grafico 13 Contenido de Aire rf=0.46

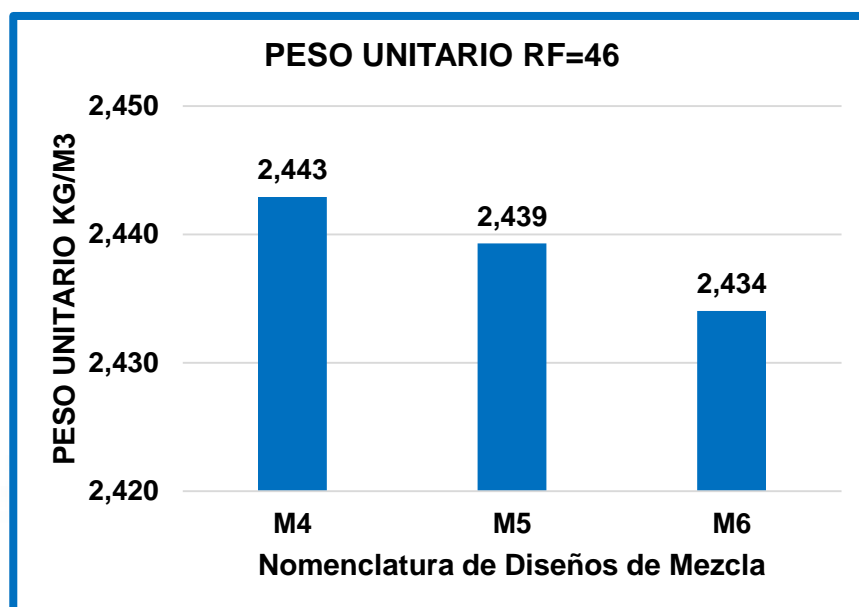


Grafico 14 Peso Unitario rf=0.46

- Contenido de aire y Peso Unitario del concreto, Diseños con Ceniza de Carbón, rf=0.46, 440 kg/m³

DISEÑO	CONTENIDO DE AIRE (%)	PESO UNITARIO Kg/m³	VISCOCRETE 1110	PLASTIMENT TM12	a/c
D. OPTIMO	2.0%	2442	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 10%	2.4%	2429	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 15%	2.3%	2384	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 20%	2.1%	2358	0.74%	0.13%	0.40
D.C. - 25%	2.0%	2356	0.74%	0.13%	0.40

Cuadro 27 Contenido de Aire y Peso Unitario - Diseño de Estudio

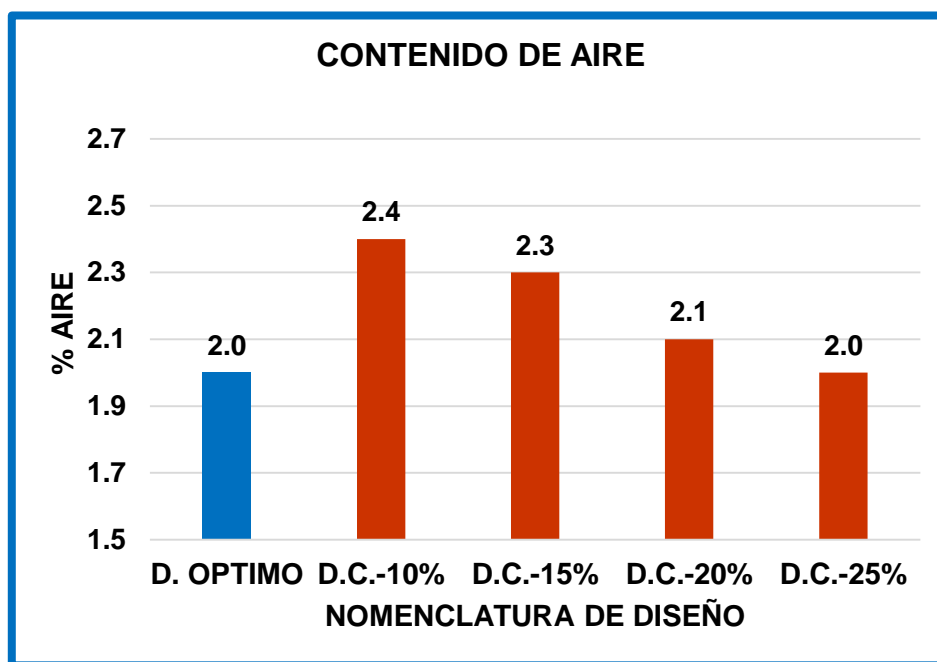


Grafico 15 Contenido de Aire Diseño de Estudio

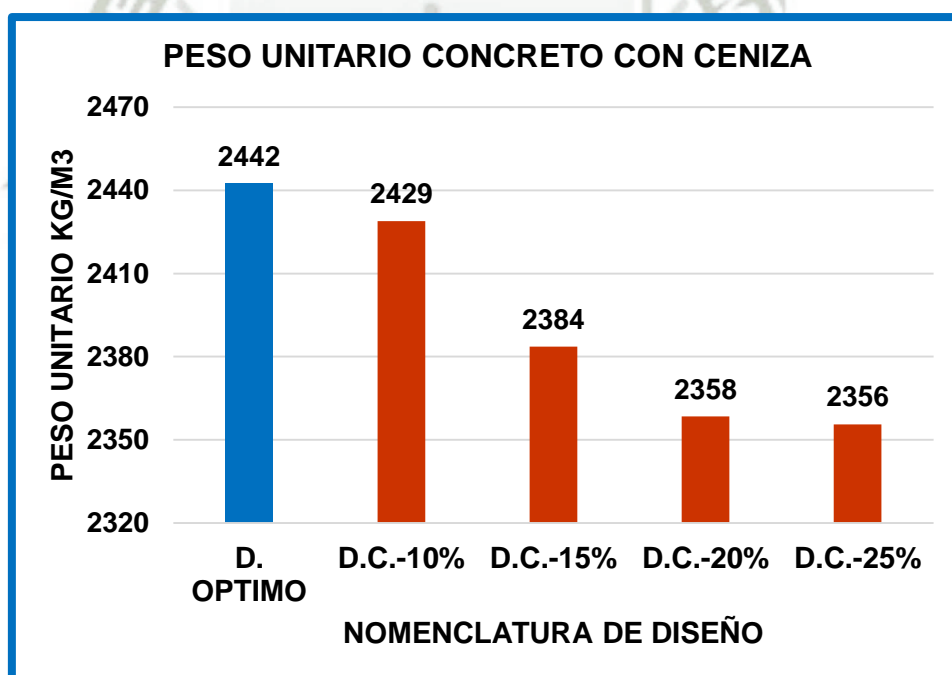


Grafico 16 Peso Unitario - Diseño de Estudio

4.1.4 TIEMPO DE FRAGUA

Del concreto no usado para los ensayos de asentamiento y de contenido de aire, se selecciona una muestra representativa de suficiente volumen para proveer la cantidad de mortero necesaria para llenar el contenedor, o contenedores a una profundidad de por lo menos 140 mm (5½ pulg).

Luego se obtiene la muestra de mortero por tamizado en húmedo de la porción seleccionada de concreto, a través de un tamiz de 4.75mm y sobre una superficie no absorbente, de acuerdo al procedimiento de la práctica

Los contenedores deben ser rígidos, herméticos, no absorbentes, libres de aceite o de grasa, y pueden ser cilíndricos o rectangulares en sección transversal. Se debe contar con un área de superficie de mortero suficiente para que se puedan hacer 10 lecturas de resistencia a la penetración de acuerdo con los requisitos de distancias libres entre lecturas especificadas en el procedimiento de ensayo. La dimensión lateral debe ser de por lo menos 150 mm (6") y la altura debe ser de por lo menos 150 mm (6").

Se deben tener agujas que puedan ser acopladas al aparato de carga y que tengan las siguientes áreas de contacto: 645, 323, 161, 65, 32 y 16mm² (1, ½, ¼, 1 /10, 1 /20 y 1 /40 pulg²). Cada espiga de las agujas debe ser marcada circunferencialmente a una distancia de 25 mm (1 pulg) del área de contacto. La longitud de la aguja de 16 mm² (1 /40 pulg²) no debe ser mayor de 90 mm (3½ pulg).

Debe proporcionarse un dispositivo para medir la fuerza requerida para causar la penetración de las agujas. Este dispositivo debe ser capaz de medir la fuerza de penetración con una exactitud de $\pm 10\text{N}$ ($\pm 2\text{lb}$) y debe tener una capacidad de por lo menos 600N (130 lb).

La varilla apisonadora será una varilla de acero redonda y recta de 16mm ($\frac{5}{8}$ pulg) de diámetro y de aproximadamente 600 mm (24 pulg) de longitud, que tenga el extremo de apisonar a ambos extremos redondeados en una punta semiesférica cuyo diámetro sea de 16 mm ($\frac{5}{8}$ pulg).

Se inserta en el aparato de resistencia a la penetración una aguja de penetración de tamaño apropiado dependiendo del grado de endurecimiento (fraguado) del mortero, y se lleva la superficie de apoyo de la aguja en contacto con la superficie del mortero. Luego se aplica gradualmente y uniformemente una fuerza hacia abajo en el aparato hasta que la aguja penetra el mortero hasta una profundidad de $25 \pm 2\text{mm}$ ($1 \pm 1/16$ pulg), como se indica por la marca en la aguja. El tiempo requerido para penetrar la profundidad de 25mm (1 pulg) debe ser de $10 \pm 2\text{ s}$. Se registra la fuerza requerida para producir la penetración de 25mm (1 pulg), y el tiempo de la aplicación, medido como el tiempo transcurrido después del contacto inicial del cemento con el agua. Se calcula la resistencia a la penetración, dividiendo la fuerza aplicada, dentro del área de apoyo de la aguja, y se registra la misma como resistencia a la penetración. En los subsiguientes ensayos de penetración debe tenerse el cuidado de evitar áreas donde el mortero haya sido alterado por ensayos

previos. La distancia libre entre las impresiones de la aguja, debe ser de dos diámetros de la aguja que se esté usando, pero no menor de 15 mm ($\frac{1}{2}$ pulg). La distancia libre entre cada impresión de la aguja y el lado del contenedor debe ser de por lo menos 25mm (1 pulg) pero no mayor que 50 mm (2 pulg), se hace el ensayo inicial de penetración después de transcurrido un tiempo de 3 a 4h después del contacto inicial entre el cemento y el agua. Los ensayos subsiguientes se hacen a intervalos de $\frac{1}{2}$ a 1h. Para mezclas de concreto que contengan Acelerantes o a temperaturas más altas que las del laboratorio, se recomienda hacer el ensayo inicial a intervalos de $\frac{1}{2}$ a 1h, y los ensayos subsiguientes a intervalos de $\frac{1}{2}$ h.

Para realizar la gráfica del tiempo de fraguado del concreto tamizado, se toma en cuenta la resistencia a la compresión y los tiempos en los que se realiza los ensayos, la resistencia a la compresión como ordenada y el tiempo transcurrido como abscisa.

$$\text{Log (PR)} = a + b \text{ Log (t)}$$

Donde:

PR = Resistencia a la penetración

t = Tiempo transcurrido a y b Constantes de regresión

Los datos no necesariamente deben ser convertidos a logaritmos

En los siguientes cuadros se presentara los ensayos realizados a los distintos diseños de estudio, se podrá notar que la ceniza de Carbón influye gradualmente en el ensayo, esto quiere decir que la ceniza tiene un poder absorbente influyente en la mezcla, por lo que se puede concluir que es uno de los factores que reduce el asentamiento, pero no la manejabilidad, ya que al tener menor peso específico que el cemento aligera su peso considerablemente, por lo que la energía necesaria para el colocado del concreto también disminuye.



DISEÑO DE CONCRETO OPTIMO – TIEMPOS DE FRAGUA

DISEÑO RF=0.46, 440 kg/m3 DE CEMENTO

HORA DE INICIO: 07:59 AM

DISEÑO OPTIMO a/c=0.40						
Diámetro Aguja (plg)	Área de Aguja (plg2)	Carga Lb	Ib/plg2	Hora de Ensayo	Tiempo Transcurrido (horas)	Tº Concreto Tº Ambiente
1 1/8"	0.994	90	91	13:34	05:35	23.4
		114	115	14:10	06:11	23.6
13/16"	0.518	108	208	14:37	06:38	24.3
		114	220	14:40	06:41	24.4
9/16"	0.249	104	419	15:01	07:02	24.5
		137	551	15:17	07:18	24.7
5/16"	0.077	92	1199	15:49	07:50	24.9
		120	1565	16:01	08:02	25.0
4/16"	0.049	96	1956	16:13	08:14	25.0
		114	2322	16:24	08:25	25.2
3/16"	0.028	124	4491	17:04	09:05	25.8
		128	4636	17:08	09:09	26.0

Cuadro 28 Tiempo de Fraguado Diseño Óptimo

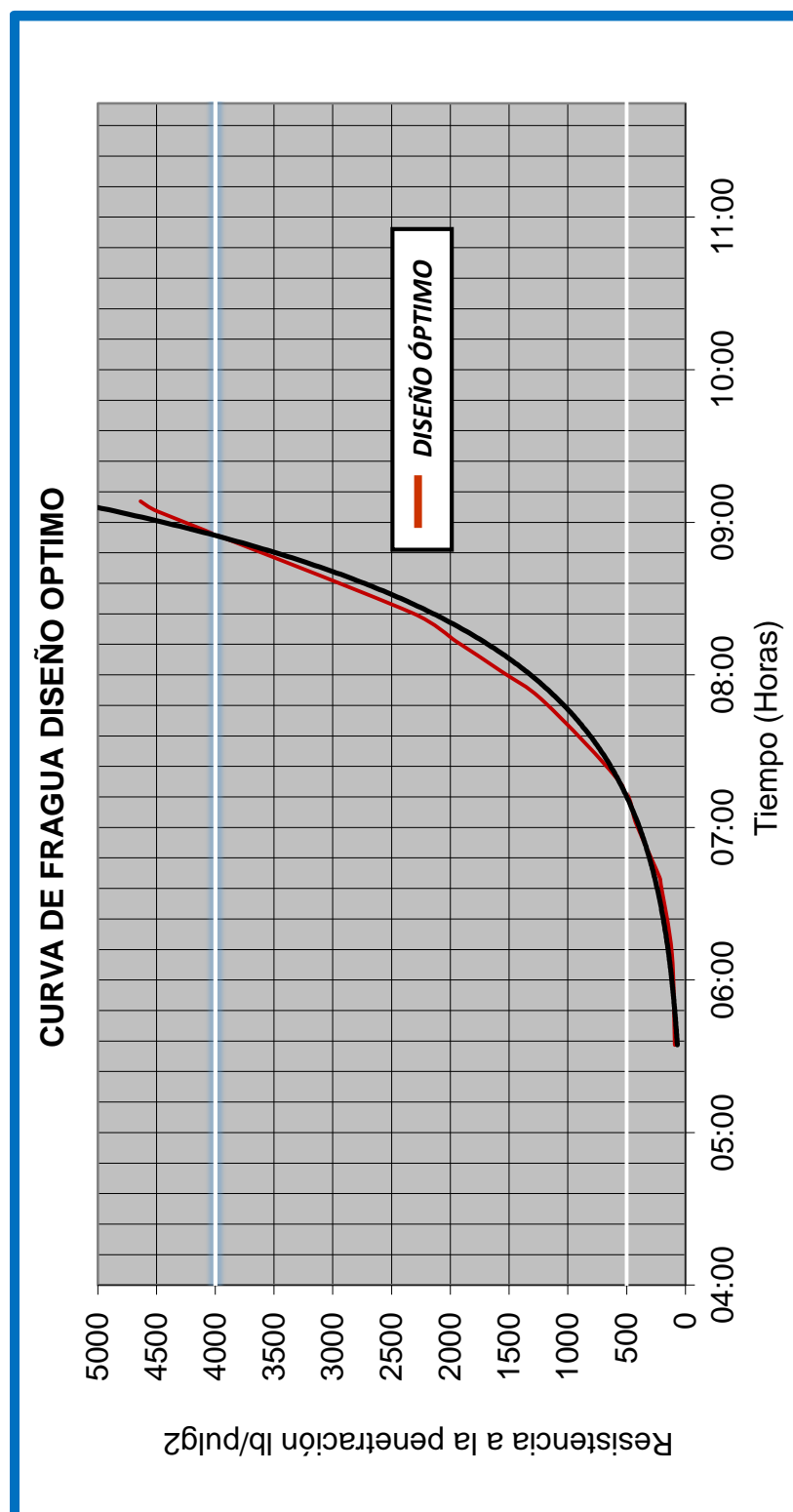


Grafico 17 Tiempo de Fraguado Diseño Optimo

Inicio de Fragua 7 Horas 12 Minutos

Termino de Fragua 8 Horas 54 Minutos

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 10% – TIEMPOS DE FRAGUA

DISEÑO RF=0.46, CENIZA DE CARBON 10%

HORA DE INICIO: 08:03 AM

DISEÑO CONCRETO CON CENIZA 10% a/c=0.40						
Diámetro Aguja (plg)	Área de Aguja (plg ²)	Carga Lb	lb/plg ²	Hora de Ensayo	Tiempo Transcurrido (horas)	T° Concreto
1 1/8"	0.994	140	141	13:27	05:24	27.0
		142	143	13:38	05:35	27.0
13/16"	0.518	150	289	14:02	05:59	27.0
		160	309	14:04	06:01	27.0
9/16"	0.249	130	523	14:26	06:23	27.0
		144	579	14:31	06:28	27.0
5/16"	0.077	126	1643	15:13	07:10	27.0
		128	1669	15:14	07:11	27.0
4/16"	0.049	110	2241	15:31	07:28	27.0
		112	2282	15:33	07:30	27.0
3/16"	0.028	110	3984	16:11	08:08	27.5
		126	4563	16:25	08:22	27.5
						25.8
						25.8
						24.2
						24.2
						26.0
						26.6
						24.9
						24.9
						24.0
						24.0
						25.3
						25.1

Cuadro 29 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 10%

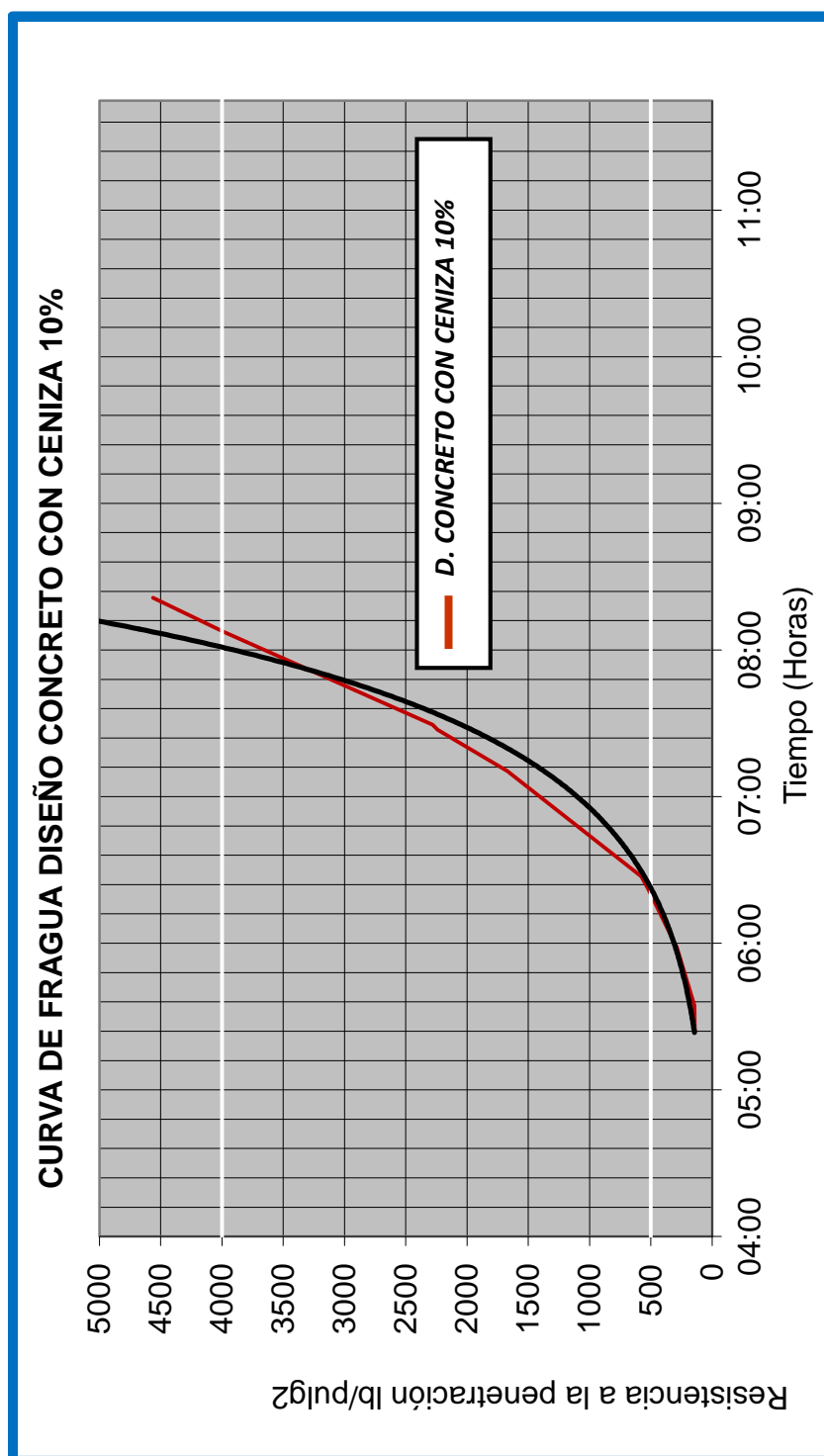


Grafico 18 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 10%

Inicio de Fragua 6 Horas 20 Minutos

Termino de Fragua 8 Horas 10 Minutos

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 15% – TIEMPOS DE FRAGUA

DISEÑO RF=0.46, CENIZA DE CARBON 15%

HORA DE INICIO: 08:31 AM

DISEÑO CONCRETO CON CENIZA 15% a/c=0.40							T° Ambiente
Diámetro Aguja (plg)	Área de Aguja (plg ²)	Carga Lb	lb/pulg ²	Hora de Ensayo	Tiempo Transcurrido (horas)	T° Concreto	
1 1/8"	0.994	70	70	13:10	04:39	24.5	21.0
		174	175	13:40	05:09	24.5	21.0
13/16"	0.518	120	231	13:52	05:21	25.0	20.6
		140	270	13:57	05:26	25.0	20.0
9/16"	0.249	144	579	14:30	05:59	25.0	20.0
		154	620	14:35	06:04	25.0	20.0
5/16"	0.077	86	1121	14:58	06:27	25.5	20.2
		120	1565	15:15	06:44	25.5	20.5
4/16"	0.049	88	1793	15:23	06:52	25.5	20.2
		114	2322	15:35	07:04	25.5	19.4
3/16"	0.028	114	4129	16:17	07:46	26.0	18.3
		130	4708	16:29	07:58	26.0	18.3

Cuadro 30 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 15%

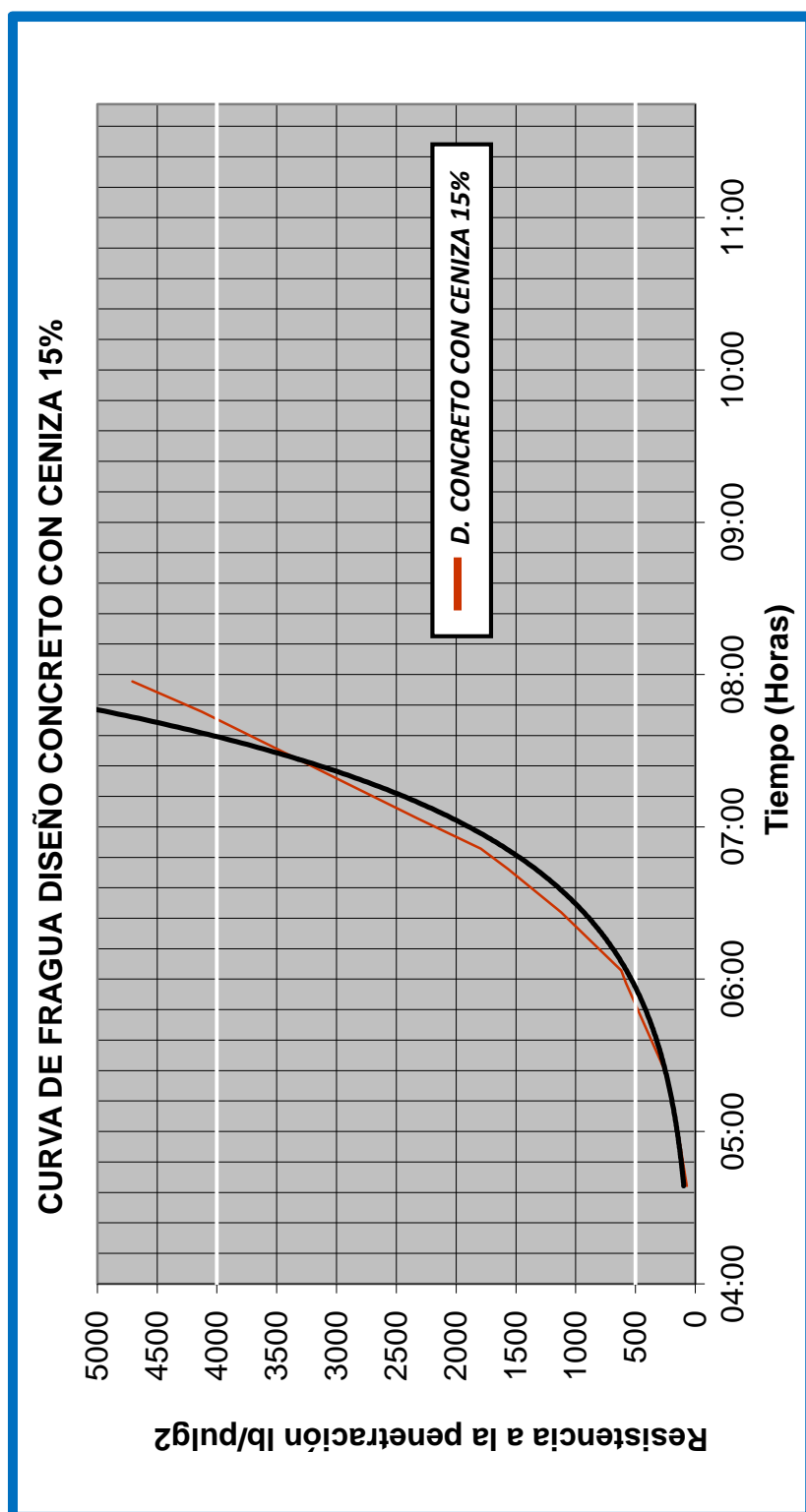


Grafico 19 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 15%

Inicio de Fragua 5 Horas 48 Minutos

Termino de Fragua 7 Horas 43 Minutos

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 20% – TIEMPOS DE FRAGUA

DISEÑO RF=0.46, CENIZA DE CARBON 20%

HORA DE INICIO: 09:30 AM

DISEÑO CONCRETO CON CENIZA 20% a/c=0.40						
Diámetro Aguja (plg)	Área de Aguja (plg ²)	Carga Lb	Ib/plg ²	Hora de Ensayo	Tiempo Transcurrido (horas)	T° Concreto
1 1/8"	0.994	150	151	14:24	04:53	26.0
		168	169	14:34	05:03	26.0
13/16"	0.518	94	181	14:36	05:05	26.0
		110	212	14:40	05:09	26.0
9/16"	0.249	80	322	15:05	05:34	26.0
		108	435	15:19	05:48	26.0
5/16"	0.077	74	965	15:40	06:09	26.0
		110	1434	15:59	06:28	26.0
4/16"	0.049	94	1915	16:18	06:47	26.5
		168	3422	16:45	07:14	26.5
3/16"	0.028	110	3984	16:56	07:25	26.5
		138	4998	17:12	07:41	26.5
						26.7
						26.8
						27.0
						27.1
						24.7
						24.3
						24.3
						25.0
						25.1
						24.4
						23.9
						23.6

Cuadro 31 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 20%

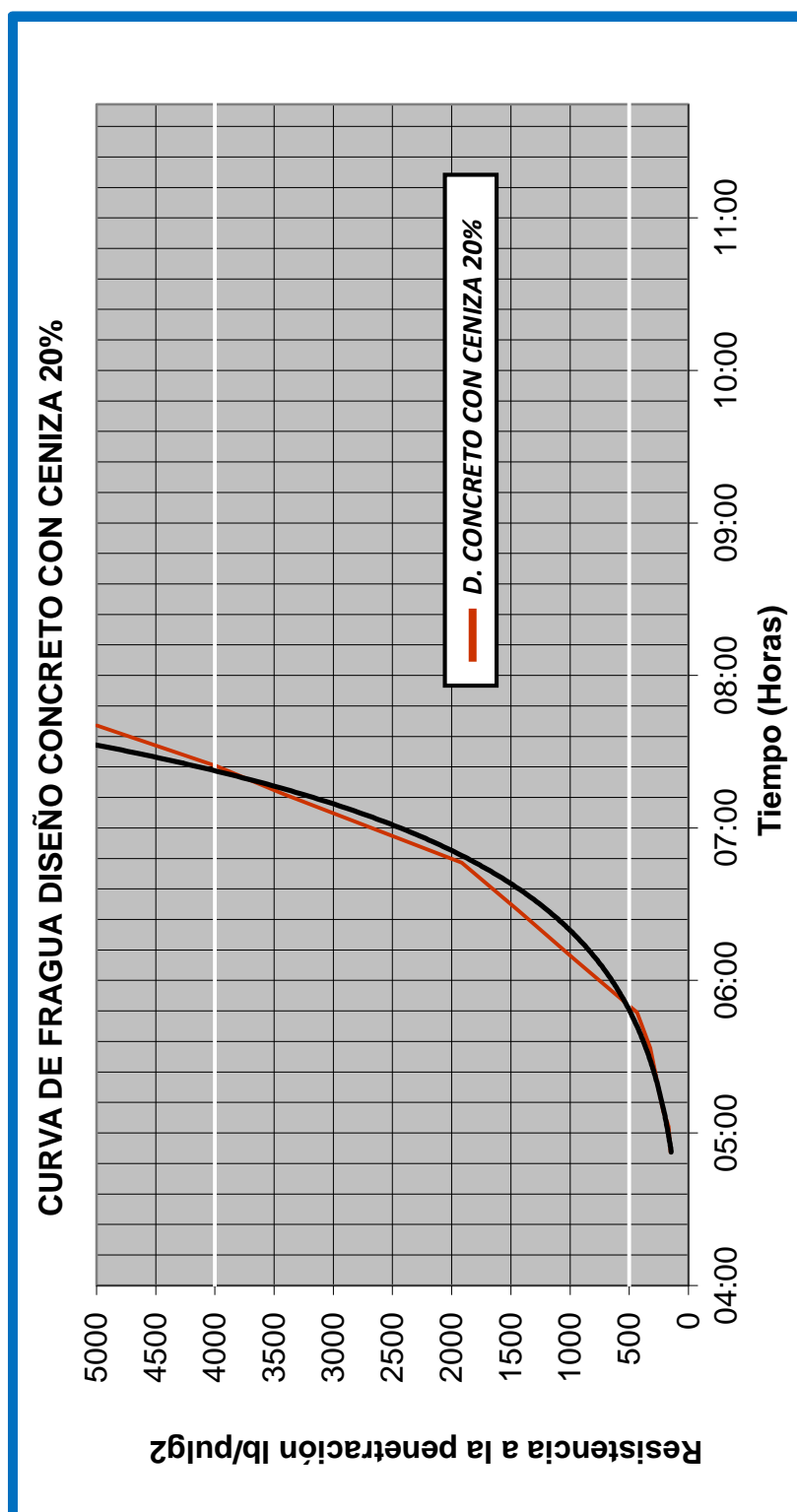


Grafico 20 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 20%

Inicio de Fragua 5 Horas 50 Minutos

Termino de Fragua 7 Horas 24 Minutos

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 25% – TIEMPOS DE FRAGUA

DISEÑO RF=0.46, CENIZA DE CARBON 25%

HORA DE INICIO: 09:42 AM

DISEÑO CONCRETO CON CENIZA 25% a/c=0.40						
Diámetro Aguja (plg)	Área de Aguja (plg2)	Carga Lb	Ib/plg2	Hora de Ensayo	Tiempo Transcurrido (horas)	Tº Concreto
1 1/8"	0.994	42	42	13:51	04:09	23.0
		118	119	14:30	04:48	23.5
13/16"	0.518	140	270	15:04	05:22	24.0
		142	274	15:05	05:23	24.0
9/16"	0.249	110	443	15:14	05:32	24.5
		122	491	15:17	05:35	24.5
5/16"	0.077	100	1304	15:59	06:17	25.0
		110	1434	16:04	06:22	25.0
4/16"	0.049	122	2485	16:31	06:49	26.0
		142	2893	16:41	06:59	26.0
3/16"	0.028	150	5432	17:32	07:50	26.5
		155	5614	17:33	07:51	26.5
						Tº Ambiente
						3.0
						26.1
						24.1
						24.1
						22.3
						22.3
						20.2
						20.2
						19.3
						19.3
						18.3
						18.3

Cuadro 32 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 25%

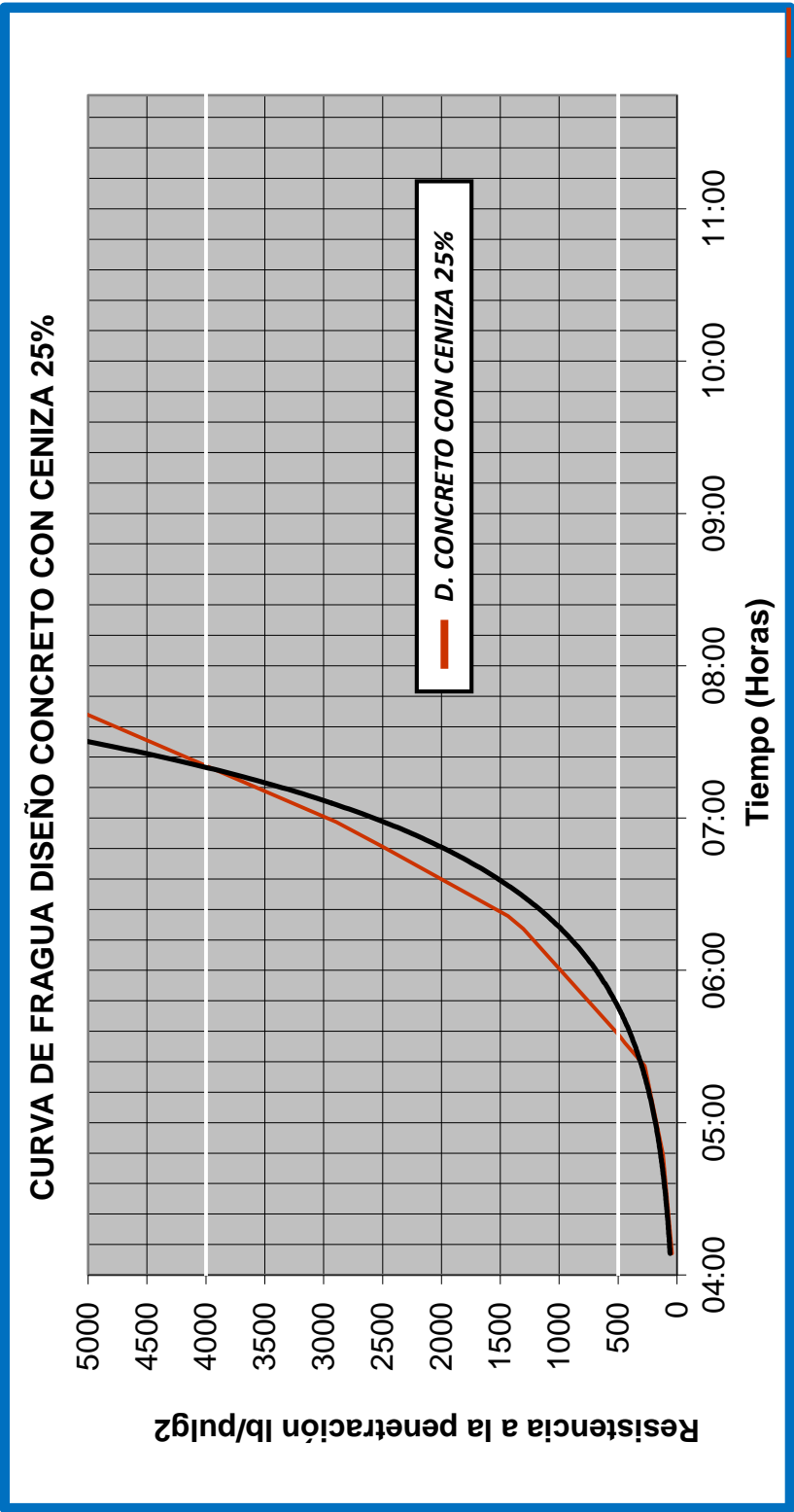


Grafico 21 Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 25%

Inicio de Fragua 5 Horas 35 Minutos
Termino de Fragua 7 Horas 20 Minutos

4.2 ELABORACIÓN Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

- Resistencia a flexión a los 7 días

NOMECLATURA	FUERZA (Kg)	RESISTENCIA A LA FLEXION Kg/cm ² 7 DIAS	PROMEDIO Kg/cm ²
DISEÑO OPTIMO	5120	67.36	67
	5105	67.17	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 10%	5068	66.68	67
	5072	66.73	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 15%	4807	63.25	63
	4795	63.09	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 20%	4303	56.62	57
	4320	56.84	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 25%	3851	50.67	51
	3875	50.98	

Cuadro 33 Resistencia a Flexión - Diseño de Estudio

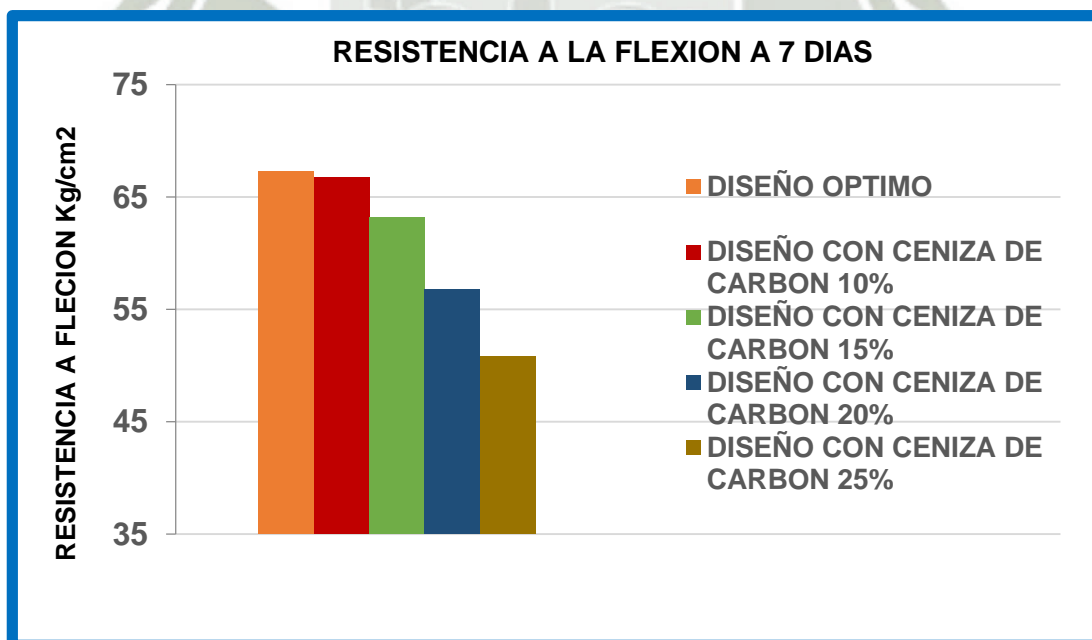


Grafico 22 Resistencia a Flexión 7 Días - Diseño de Estudio

- Resistencia a flexión a los 28 días

NOMECLATURA	FUERZA (Kg)	RESISTENCIA A LA FLEXION Kg/cm2 28 DIAS	PROMEDIO Kg/cm2
DISEÑO OPTIMO	5431	71.46	72
	5440	71.58	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 10%	5223	68.72	69
	5230	68.81	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 15%	5043	66.35	67
	5070	66.71	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 20%	4620	60.79	61
	4612	60.68	
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 25%	4142	54.50	54
	4135	54.40	

Cuadro 34 Resistencia a Flexión 28 Días - Diseño de Estudio

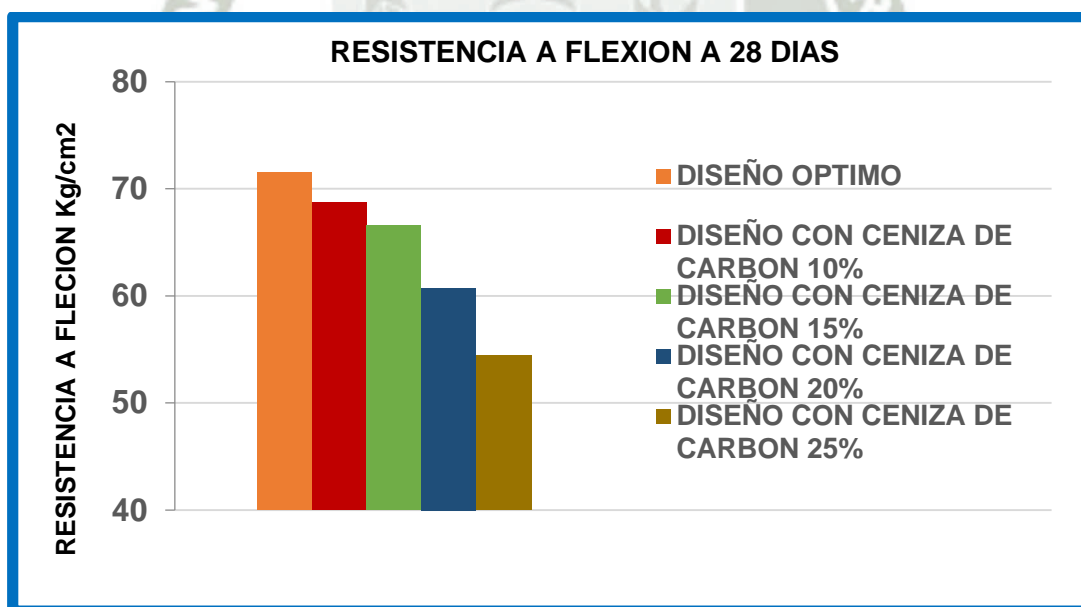


Grafico 23 Resistencia a Flexión 28 Días - Diseño de Estudio

4.2.2 CONTRACCIÓN DEL CONCRETO

La contracción por secado es la deformación más importante no dependiente de las cargas aplicadas que experimenta el hormigón convencional sano y es considerada una de las principales causas de su fisuración. Entre los parámetros no dependientes del hormigón que más afectan la contracción por secado están la humedad relativa, la velocidad y duración del secado, y también las dimensiones lineales del elemento estructural.

Para realizar el ensayo de contracción se prepara un molde en forma de un prisma con una sección transversal cuadrada de 100 mm (4 pulg) de lado y de longitud aproximada de 285 mm (11 ¼ pulg). Para cada condición de ensayo, deben prepararse tres especímenes.

Se coloca el concreto en el molde en dos capas aproximadamente iguales. Se consolida cada capa mediante empleando una varilla de acero. El mismo método de consolidación debe usarse para todos los especímenes a ser comparados, en la última capa el concreto debe sobrepasar ligeramente el molde, concluida la última capa consolidada se elimina el exceso de material con la ayuda de una regla recta, se debe aflojar los pernos en cada extremo para evitar cualquier traba que se pudiese generar concluido todos estos procedimientos.

Los especímenes se remueven de los moldes a una edad de $23 \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}h$ después de haber agregado el agua al cemento durante la operación de mezclado. Para evitar daños a los especímenes cuando se remueven de los moldes, puede ser necesario, especialmente en los casos de ciertos cementos

de fraguado lento, dejar a los especímenes en los moldes por más de 24h. En estos casos, el curado húmedo debe extenderse y todos los especímenes a compararse unos con otros deben someterse a las mismas condiciones de curado en húmedo y las lecturas iniciales con el comparador de longitud, deben hacerse dentro de $\pm \frac{1}{2}$ h de la misma edad. Se permite el uso del dispositivo de desmolde para remover los especímenes de sus moldes sin causar golpes o sacudidas y con especial cuidado de no ejercer presión directamente a los pernos de calibración. Durante esta operación, el sostenedor de los pernos de calibración debe permanecer adherido a dichos pernos. Una vez los especímenes se remueven de los moldes, y antes de medir su longitud, se deben colocar en agua saturada de cal a una temperatura de $23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($73 \pm 1^{\circ}\text{F}$) por un de 30 min. Este procedimiento minimiza las variaciones de longitud debidas a los cambios de temperatura. Luego de $24 \text{ h} \pm \frac{1}{2} \text{ h}$ de haber agregado el agua al cemento durante la operación de mezclado se remueven los especímenes del depósito de agua, uno por uno, secándolos con un paño húmedo y se les hace inmediatamente la lectura de comparación inicial.

La medición del cambio de longitud se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta l_x = \frac{CRD - CRD \text{ inicial}}{G} \times 100\%$$

Donde:

Δl_x : Cambio de longitud del espécimen a cualquier edad, en %.

CRD : Diferencia entre la lectura de comparador del espécimen y la lectura de comparador de la barra de referencia a cualquier edad.

G: la longitud de calibración (plg)

Los datos sobre el cambio de longitud informada como porcentaje de aumento o de disminución de la dimensión de la dimensión lineal, al más cercano 0.001% de la longitud de calibración, y basada en la medida inicial efectuada al momento de la remoción de los especímenes de sus moldes

- **Contracción del Concreto - Diseño Optimo**

EDAD	FECHA	% DE CONTRACCIÓN
1 día	23/04/2015	0.0000
7 días*	30/04/2015	0.0077
7 días	07/05/2015	-0.0024
14 días	14/05/2015	-0.0068
21 días	21/05/2015	-0.0119
28 días	28/05/2015	-0.0148

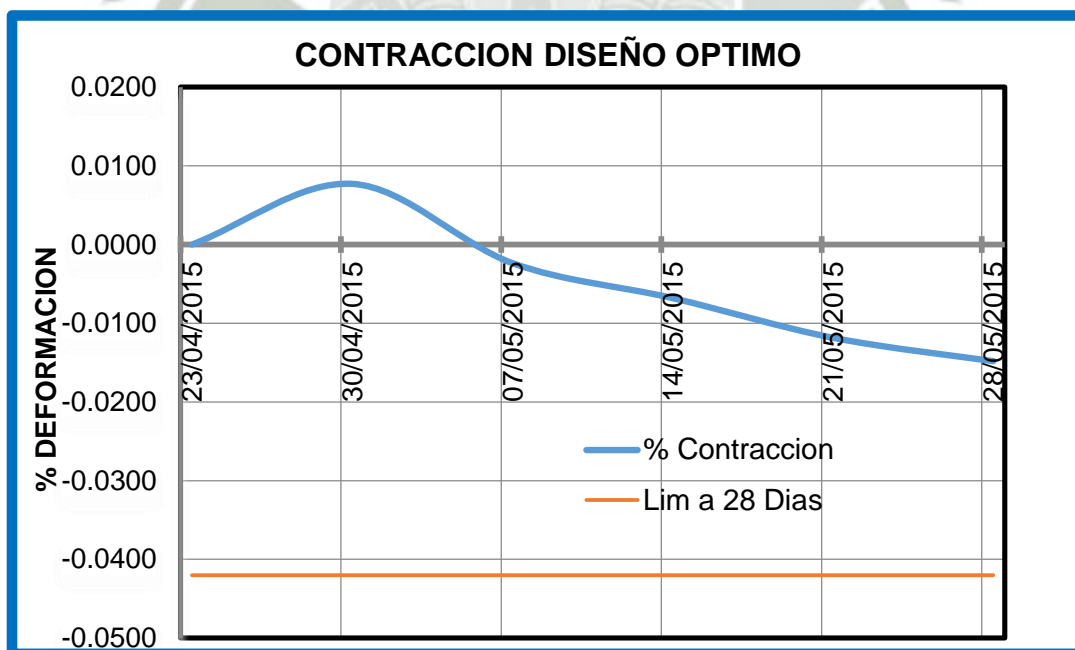


Gráfico 24 Contracción de Diseño Óptimo

- **Contracción por Secado del Concreto - Diseño con Ceniza de Carbón 10%**

EDAD	FECHA	% DE CONTRACCIÓN
1 día	23/04/2015	0.0000
7 días*	30/04/2015	0.0071
7 días	07/05/2015	-0.0056
14 días	14/05/2015	-0.0083
21 días	21/05/2015	-0.0133
28 días	28/05/2015	-0.0169

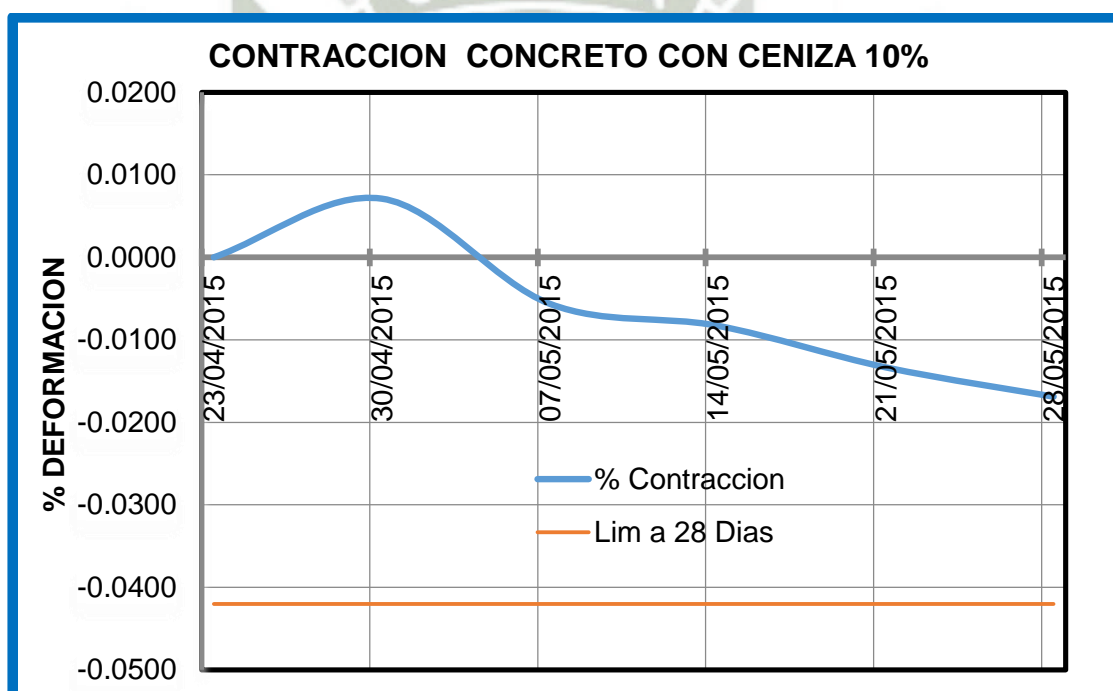


Grafico 25 Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 10%

- **Contracción por Secado del Concreto - Diseño con Ceniza de Carbón 15%**

EDAD	FECHA	% de Contracción
1 día	25/04/2015	0.0000
7 días*	02/05/2015	0.0053
7 días	09/05/2015	-0.0077
14 días	16/05/2015	-0.0139
21 días	23/05/2015	-0.0193
28 días	30/05/2015	-0.0219

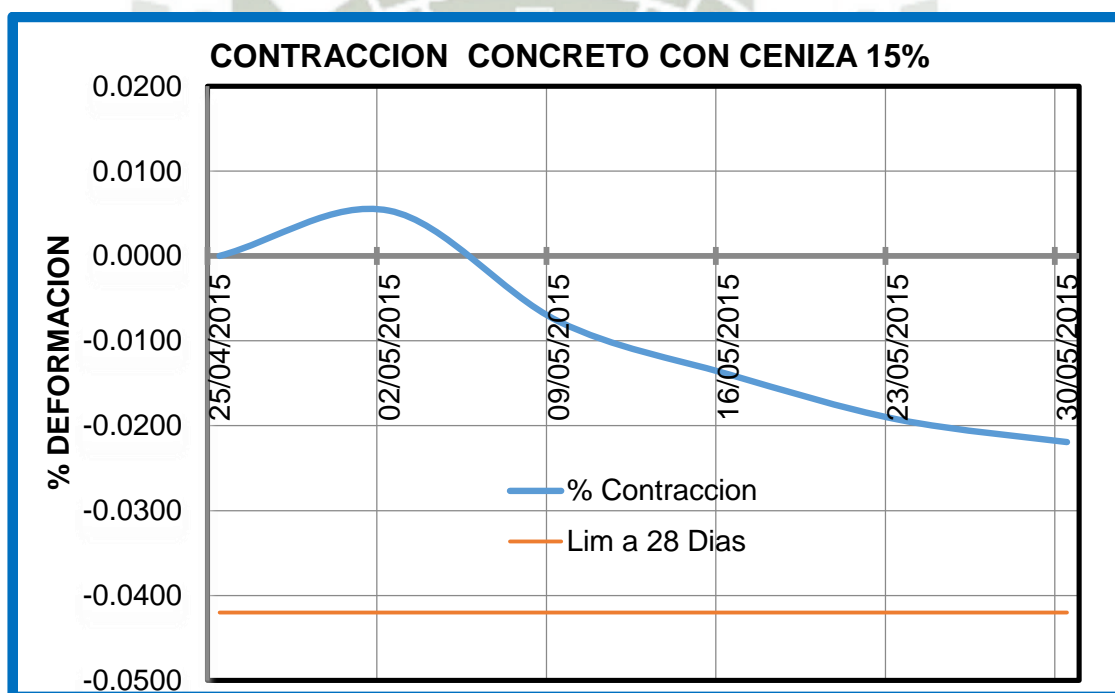


Grafico 26 Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 15%

- **Contracción por Secado del Concreto - Diseño con Ceniza de Carbón 20%**

EDAD	FECHA	% DE CONTRACCIÓN
1 día	25/04/2015	0.0000
7 días*	02/05/2015	0.0033
7 días	09/05/2015	-0.0124
14 días	16/05/2015	-0.0184
21 días	23/05/2015	-0.0276
28 días	30/05/2015	-0.0344

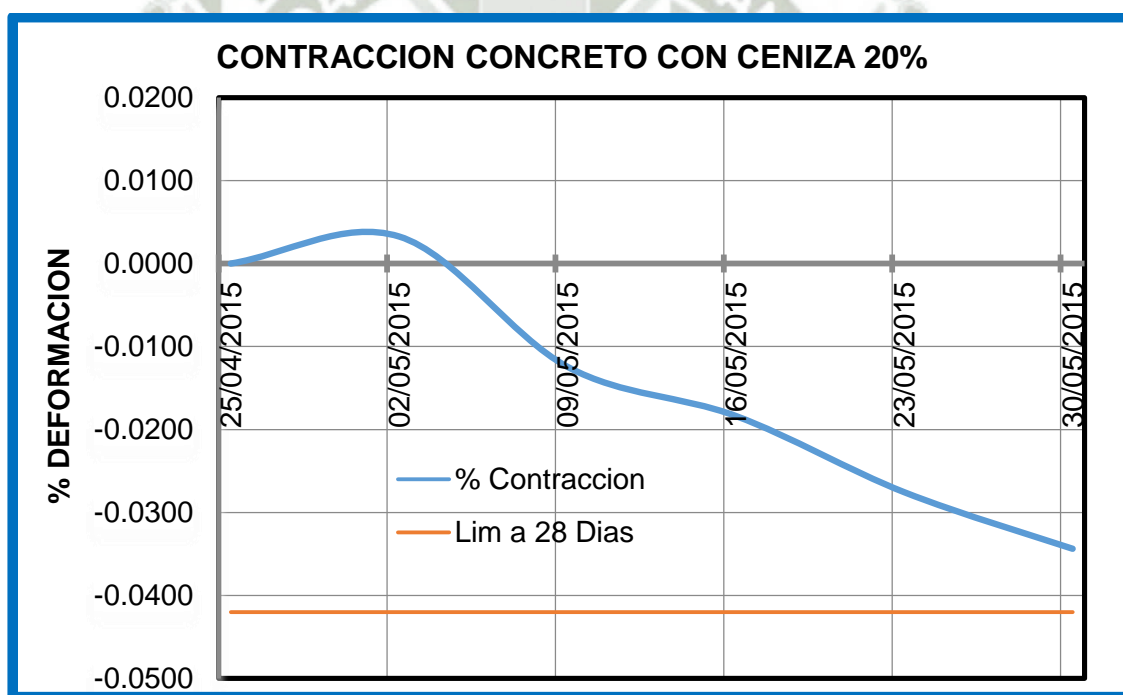


Grafico 27 Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 20%

- **Contracción por Secado del Concreto - Diseño con Ceniza de Carbón 25%**

EDAD	FECHA	% DE CONTRACCIÓN
1 día	27/04/2015	0.0000
7 días*	04/05/2015	0.0074
7 días	11/05/2015	-0.0056
14 días	18/05/2015	-0.0124
21 días	25/05/2015	-0.0228
28 días	01/06/2015	-0.0276

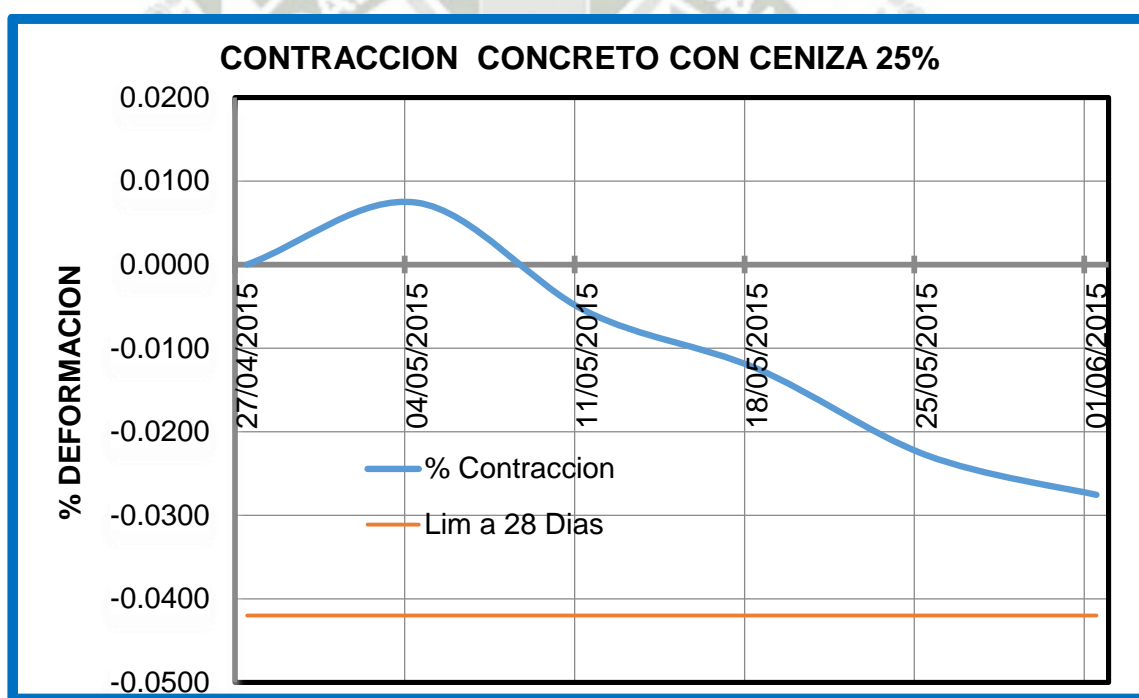


Grafico 28 Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 25%

- **Comparación de Contracción por Secado del Concreto**

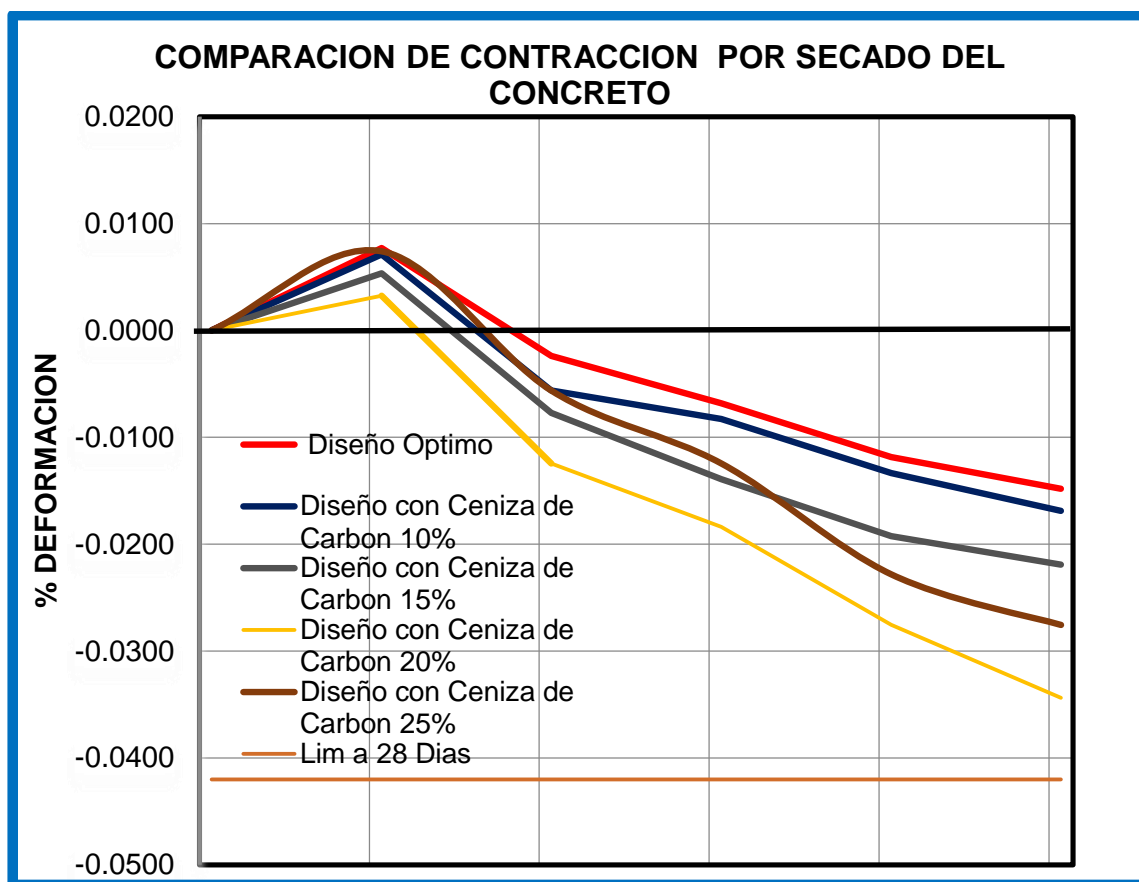


Grafico 29 Comparación de Contracciones de Diseños de Estudio

En el cuadro superior se aprecia que el diseño que emplea 20% de ceniza de Carbón es el que tiene una mayor contracción, esto se debe al porcentaje de finura que tendría en la mezcla.

4.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En los diseño sin aditivo se notó que por la cantidad de cemento el agua de amasado no era suficiente, por lo que para $r_f=0.46$ se tuvo que aumentar 140 ml, no se obtuvo un buen asentamiento, por lo que solo se realizaron muestreos para realizar el ensayo a compresión.

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESION (kg/cm ²)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
DISEÑO SIN ADITIVO	409	467	597

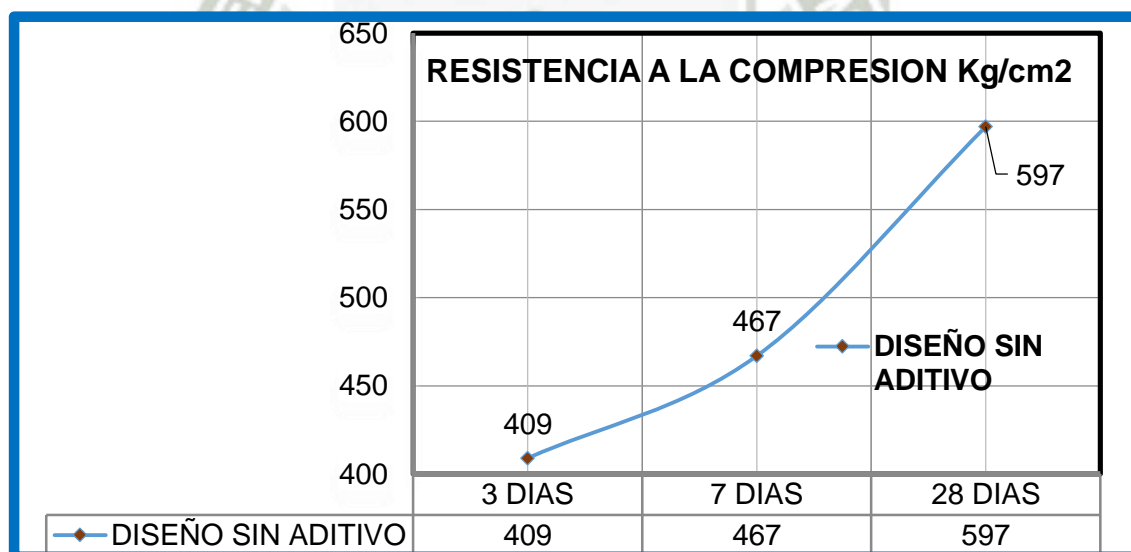


Grafico 30 Diseño de Mezcla Convencional

- DISEÑOS ELABORADOS CON ADITIVOS.

RF=0.44 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
M1 - 410 Kg/m ³ de Cemento	511	616	706
M2 - 440 Kg/m ³ de Cemento	535	635	736
M3 - 470 Kg/m ³ de Cemento	606	681	812

Cuadro 35 Resistencia a la Compresión rf=0.44

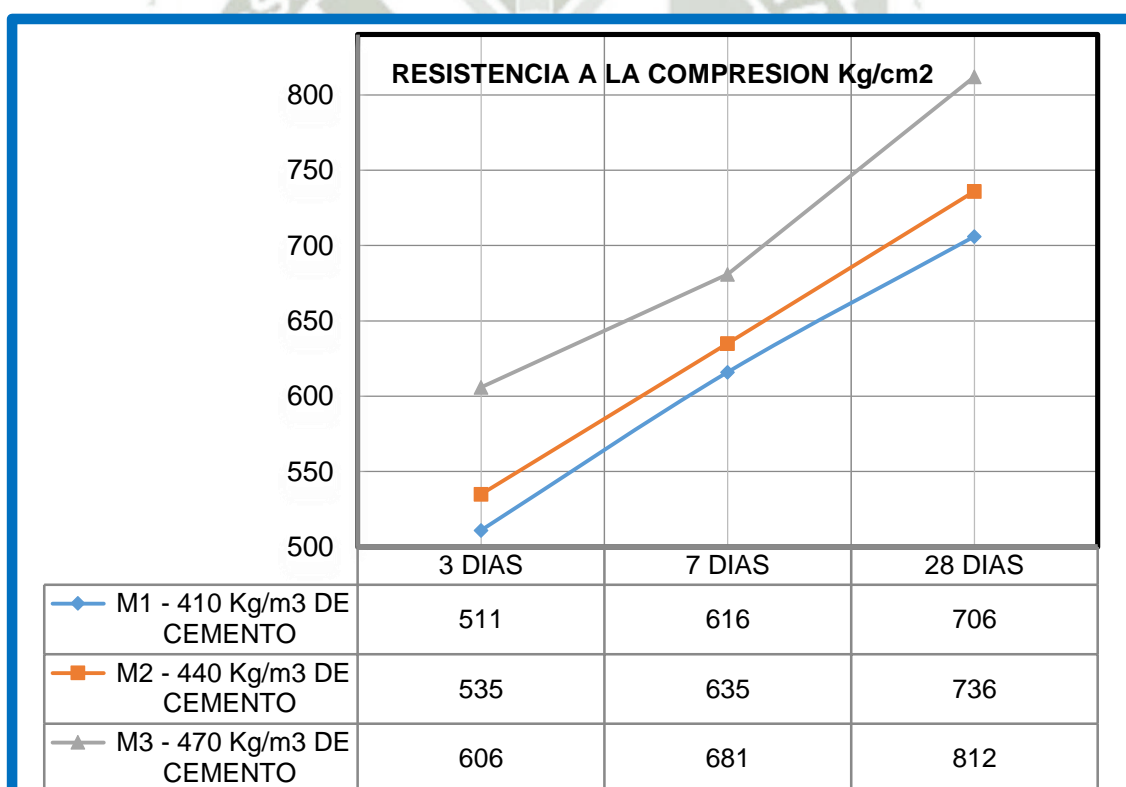


Grafico 31 Resistencia a la Compresión rf=0.44

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
M1 - 410 Kg/m ³ de Cemento	588	616	706
M2 - 440 Kg/m ³ de Cemento	597	635	736
M3 - 470 Kg/m ³ de Cemento	613	681	812

Cuadro 36 Resistencia a la Compresión rf=0.46

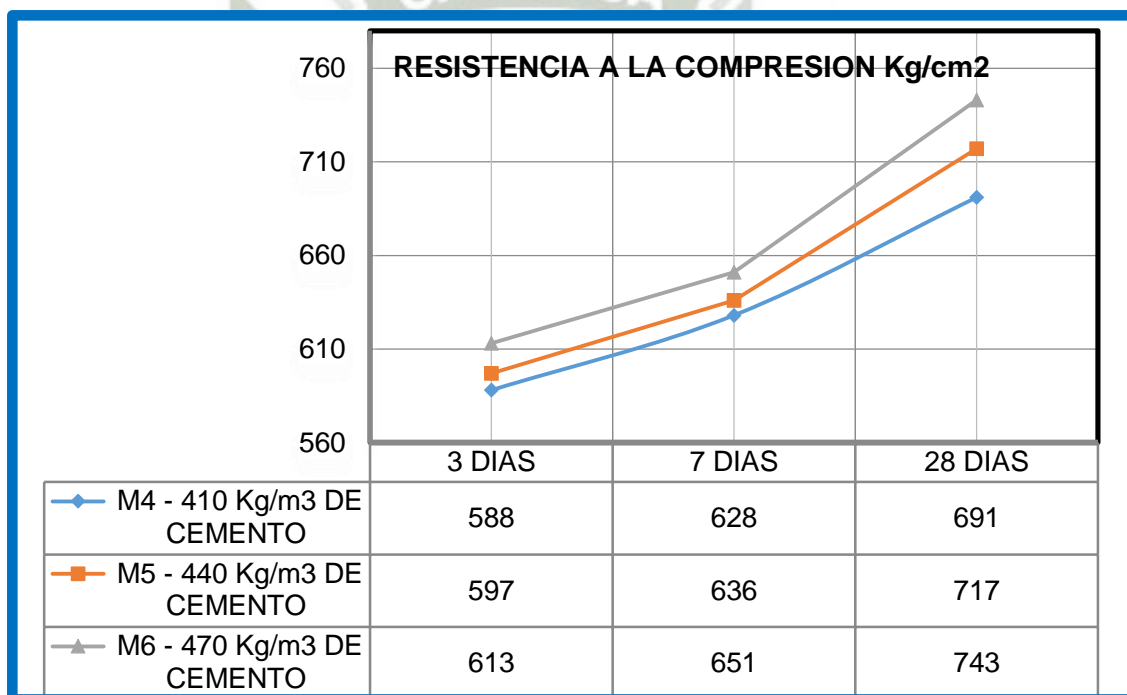


Grafico 32 Resistencia a la Compresión rf=0.46

▪ EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION RF=0.44 Y RF=0.44

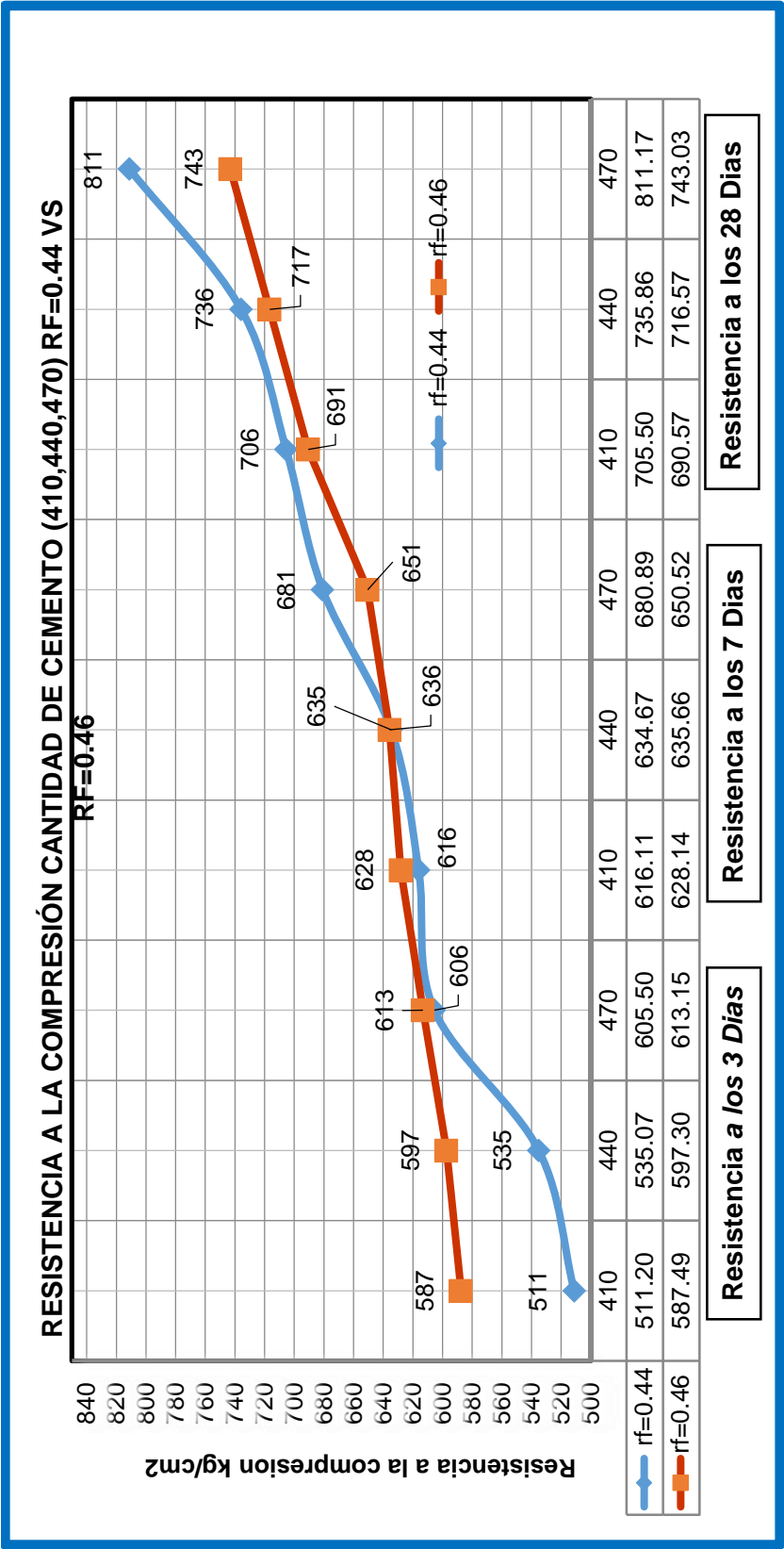


Grafico 33 Desarrollo de la Resistencia a la Compresión, rf=0.44 Vs rf=0.46

De los diseños presentados, se seleccionó el diseño con una incidencia de agregado fino del 46% ($rf=0.46$), empleando una cantidad de cemento de 440Kg/m³, en el grafico superior se puede apreciar que la incidencia de 44% de agregado fino supera en resistencia a la compresión al $rf=0.46$, sin embargo realizando mezclas con ceniza de carbón en este diseño, se obtuvo como resultado una mezcla que no cumplía con un asentamiento según las especificaciones, y más aun siguiendo la metodología de esta investigación, se hubiera perdido mayor asentamiento en proporción a la sustitución del cemento por cenizas, si bien es cierto los diseños con una cantidad de 410 Kg/m³ de cemento también hubieran sido una buena opción ya que sus resistencias a la compresión superan los 550 Kg/cm² pero que por sus diseños las cantidades de agua de amasado del diseño tampoco hubiera permitido obtener un asentamiento adecuado, si se hubiera podido utilizar los diseños con una cantidad de 470 Kg/m³ de cemento, sin embargo no permitiría optimizar las cantidades de cemento, pues subiría el costo de diseño.

Seguidamente seleccionado el Diseño Optimo ($rf=0.46$ 440 Kg/m³ de cemento), se realizaron los ensayos de laboratorio propuestos en la investigación por lo que a continuación se presentaran los resultados obtenidos del concreto en estado endurecido.

4.2.3.1 DISEÑO OPTIMO $F'C = 550 \text{ KG/CM}^2$

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESION (kg/cm2)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
DISEÑO OPTIMO	601	637	712

Cuadro 37 Resistencia a la Compresión Diseño Óptimo

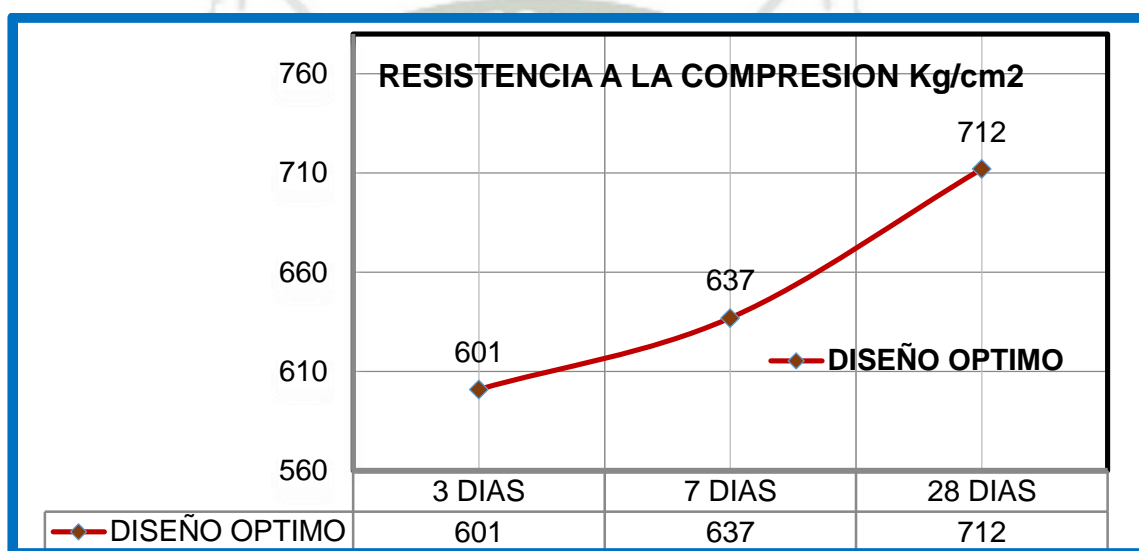


Grafico 34 Resistencia a la Compresión Diseño Óptimo

4.2.3.2 DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 10%

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESION (kg/cm2)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 10%	498	588	730

Cuadro 38 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 10%

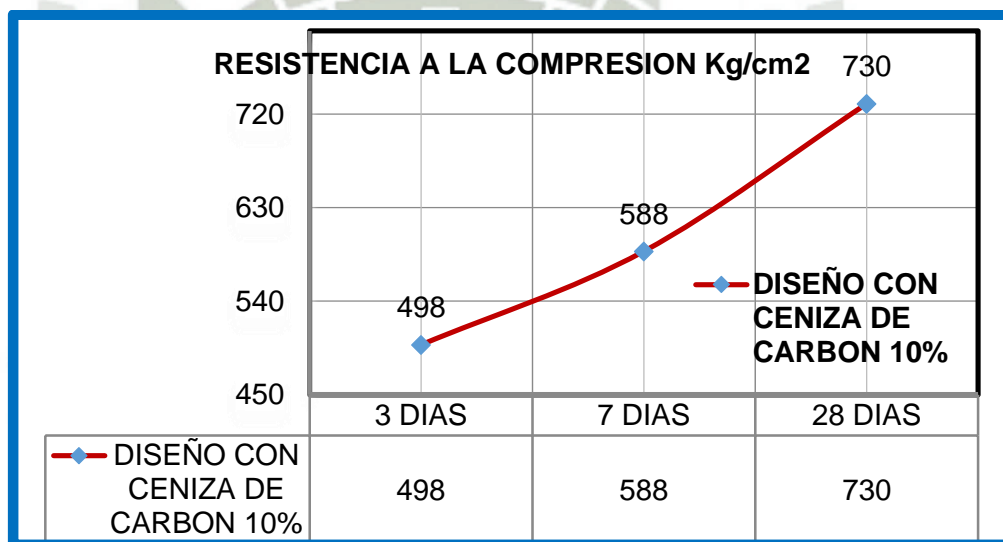


Grafico 35 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 10%

4.2.3.3 DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 15%

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESION (kg/cm2)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 15%	484	563	706

Cuadro 39 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 15%

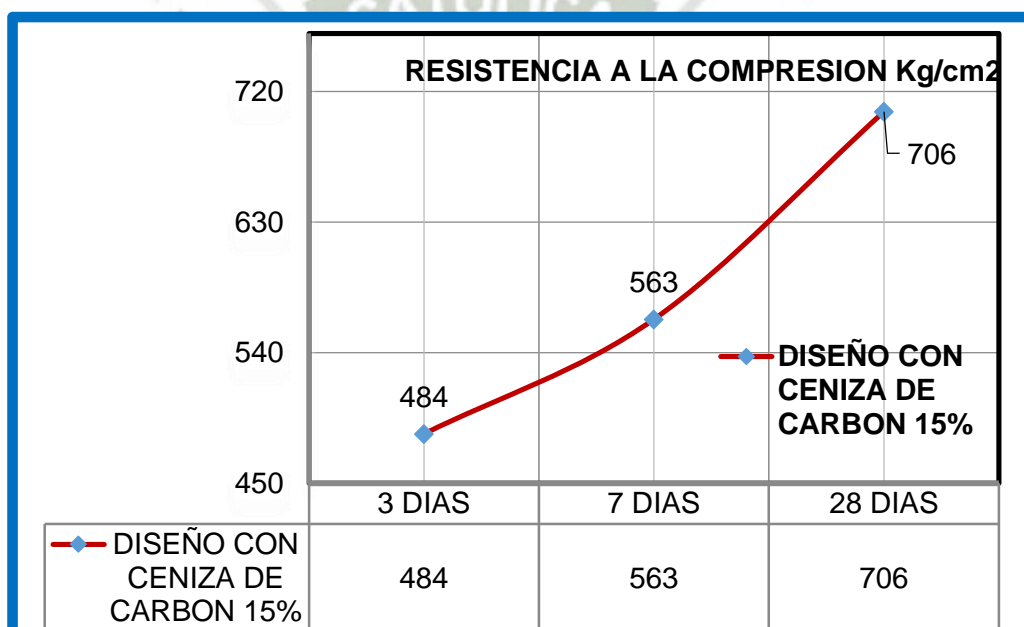


Grafico 36 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 15%

4.2.3.4 DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 20%

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESION (kg/cm2)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 20%	398	494	648

Cuadro 40 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 20%

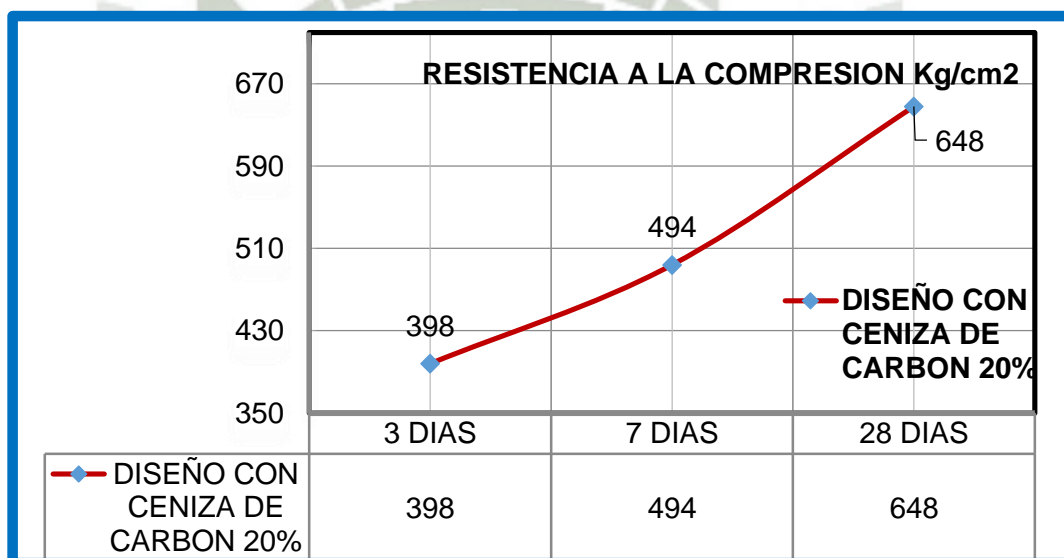


Grafico 37 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 20%

4.2.3.5 DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 25%

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESION (kg/cm2)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 25%	298	438	578

Cuadro 41 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 25%

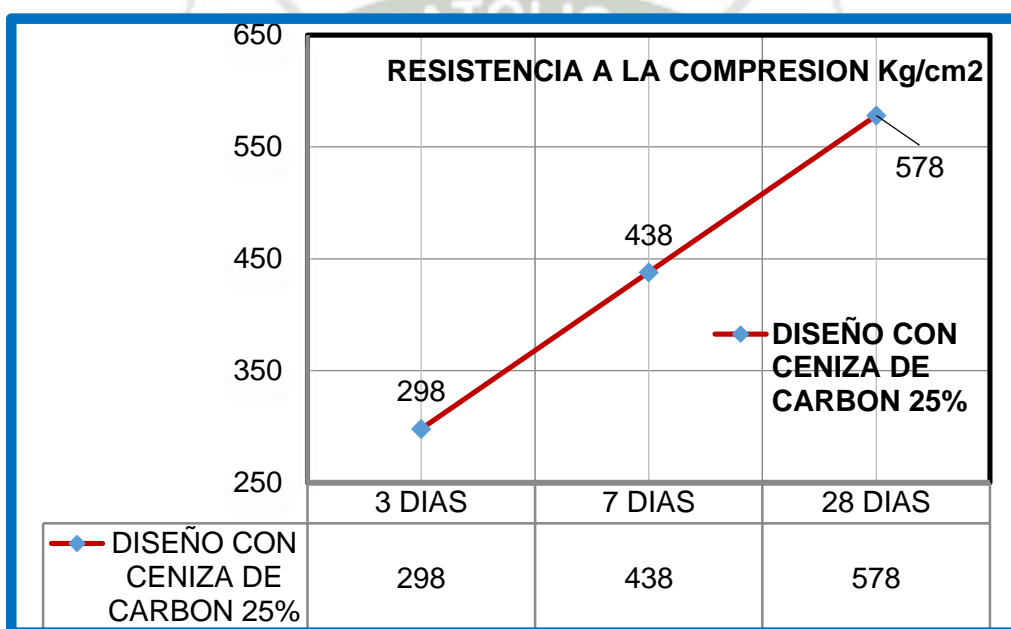
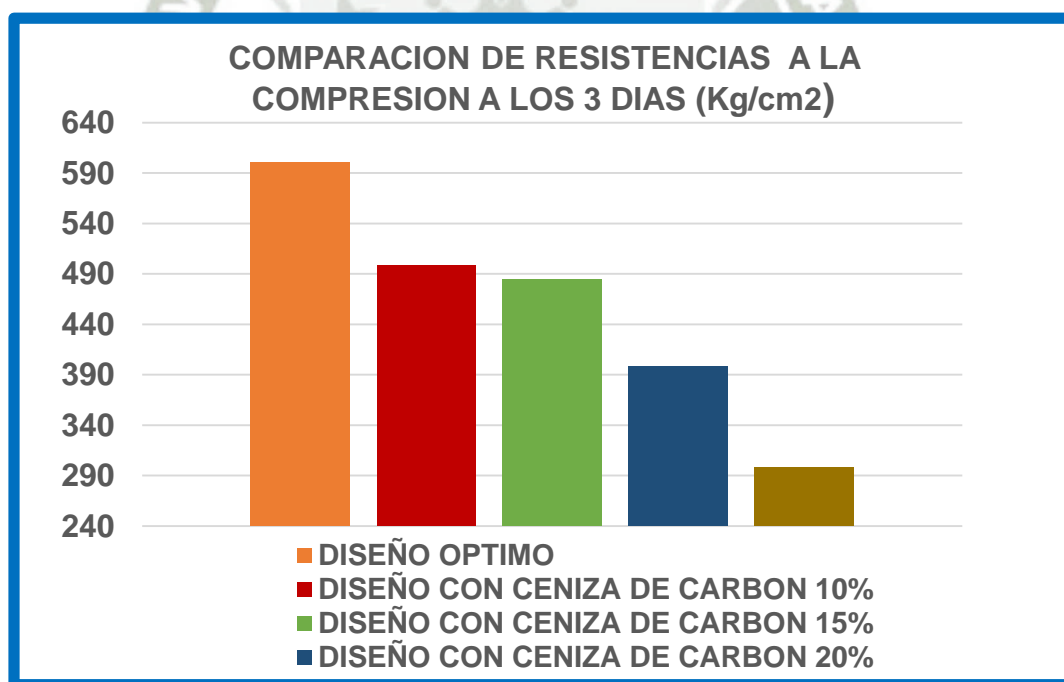


Grafico 38 Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 25%

4.2.3.6 COMPARACIÓN Y VARIACIÓN DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

RF=0.46 - a/c = 0.40	RESISTENCIA LA COMPRESION (kg/cm2)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
DISEÑO OPTIMO	601	637	712
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 10%	498	588	730
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 15%	484	563	706
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 20%	398	494	648
DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 25%	298	438	578

Cuadro 42 Comparación de Resistencias a la Compresión



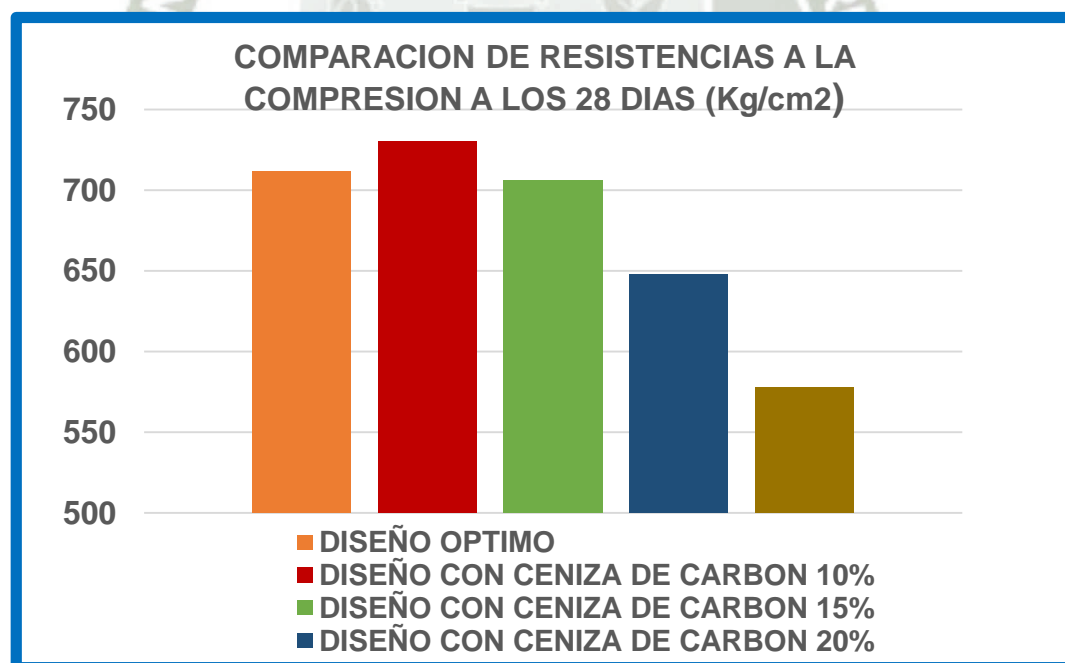
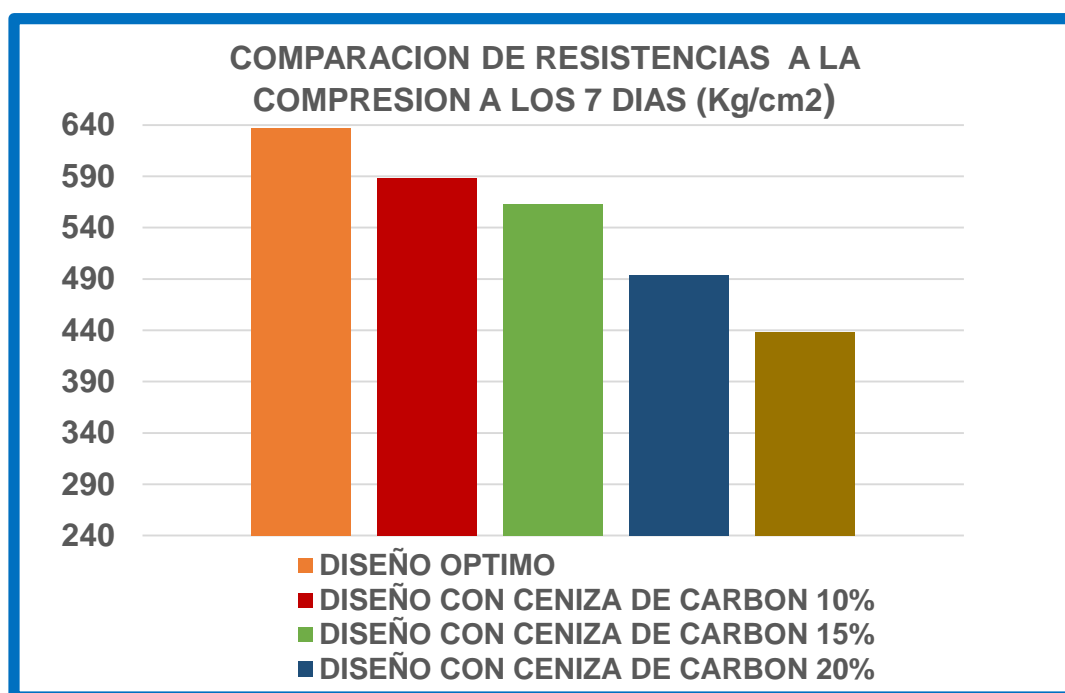
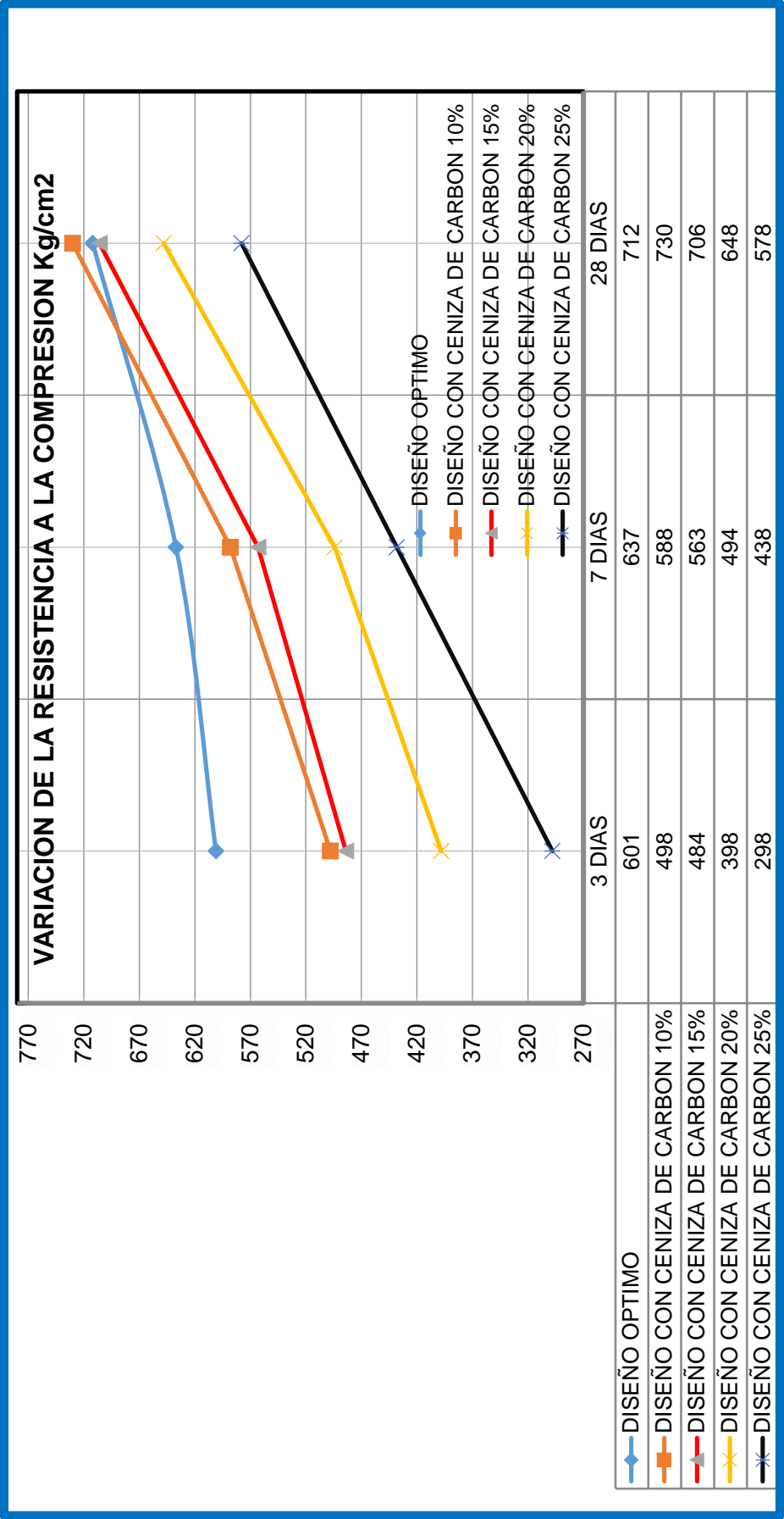


Grafico 39 Comparación de Resistencias a la Compresión Diseños de
Estudio



4.2.4 CONTROL ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las fórmulas y criterios de diseño estructural involucran una serie de factores de seguridad que tienden a compensar las variaciones entre los resultados. El % pruebas que pueden admitirse por debajo del f'_c especificado va a depender de:

- El expediente Técnico
- El Reglamento de Diseño
- El diseñador

Cualquiera que sea el criterio, se traduce como la resistencia del concreto requerida en obra f'_{cr} debe tener un valor por encima del f'_c

El comité ACI 214, contempla tres casos de diseño, todos ellos asumen un factor de seguridad para evitar posibles desperfectos que atenten contra la resistencia del concreto.

- **Caso 1: Contamos con escasos o ningún dato estadístico**

Para ello se utiliza la siguiente tabla

F'c Especificada	F'cr Kg/cm ²
< 210	F'c + 70
210 a 350	F'c + 84
> 350	F'c + 98

- **Caso 2: Se contara con datos estadísticos de producción en obra así como resultados de la rotura de probetas.**

$$\checkmark f'_{cr} = f'_c + 1.34 * D_s$$

$$\checkmark f'_{cr} = f'_c - 35 + 2.33 * D_s$$

Donde:

- f'_c : Resistencia a la compresión especificada Kg/cm²
- f'_{cr} : Resistencia a la compresión requerida Kg/cm²
- D_s : Desviación estándar en obra

De ambos resultados se escogerá el mayor valor de las formulas, siendo este el f'_{cr} requerido con el que vamos a diseñar.

- **Caso 3: No se cuenta con suficientes datos estadísticos (entre 15 y 30 ensayos)**

En este caso se utilizaran las formulas anteriores, sin embargo el valor de la desviación estándar se amplificara de acuerdo a la siguiente tabla.

Nº ENSAYOS	FACTOR DE INCREMENTO
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1

Para efectos de esta investigación se usó el caso 1, ya que no se cuenta con datos estadísticos, no obstante también se hizo un cálculo con las datos obtenidos en los que se usó el caso 3, en ambas oportunidades se logró pasar dichos requerimientos, cabe resaltar que para sustitución de

ceniza de carbón entre el 20% y 25%, cumple con la resistencia planteada en la investigación, sin embargo a comparación del diseño que no emplea ceniza (Diseño Optimo) se reduce la resistencia a la compresión en un 9% y un 18.85%, cabe indicar que usando una sustitución de ceniza de carbón de un 10%, supera la resistencia del Diseño Optimo en un 2.5%, que si bien es una pequeña cantidad, al ser una adición aumentaría su resistencia a la compresión indefinidamente.

La finalidad de esta investigación como se describió líneas superiores, ayudara a tener una mayor bibliografía, así también propone se realice más investigaciones, el concreto en nuestro país es un mundo por conocer, los grandes países al tener mayor control del concreto en estado fresco y endurecido, les ofrece como resultado mayor durabilidad en sus estructuras, por lo que es un buen ejemplo que como ingenieros debemos introducir y compartir con todas las personas involucradas en estas operaciones.

Para calificar los ensayos realizados se tiene valores permisibles en los resultados:

- La Desviación Estándar está definida como:

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum (X - X_{prom})^2}{n - 1}}$$

Donde:

- Ds = Desviación Estándar
- Xprom = Resistencia Promedio
- X = Resistencia individual
- n = Número de ensayos

- Coeficiente de variación, tiene como expresión:

$$V = \frac{Ds}{X_{prom}} \times 100$$

Donde:

- Ds = Desviación Estándar
- Xprom = Resistencia Promedio

- Seguidamente se utilizara el siguiente cuadro

DISPERCION TOTAL					
Clase de operación	Ds para diferentes grados de control (Kg/cm2)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6
DISPERCION DE TESTIGOS					
Clase de operación	Coeficiente de Variación para diferentes grados de control (%)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en Obra	< a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	> a 6
Concreto en Laboratorio	< a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	> a 5

Tabla 9 Clasificación de Ensayos

- **Diseño optimo**

DISEÑO OPTIMO			
RESISTENCIA OBTENIDA (Kg/cm ²)	DISPERSION 3 MUESTRAS	EDAD (DIAS)	PROMEDIO DE RESISTENCIAS
719	710	28	710
710	708	28	
702	708	28	
711	713	28	713
712	710	28	
718	711	28	
701	707	28	707
713	707	28	
706	708	28	
701	710	28	710
717	716	28	
711	714	28	
718	713	28	713
713		28	
708		28	

$f'c_r = f'c + 98$	648	kg/cm ²
$f'c_r = f'c + 1.34 * \alpha * D_s$	559	kg/cm ²
$f'c_r = f'c - 35 + 2.33 * \alpha * D_s$	531	kg/cm ²

F'C	28 días	
F'c Especificada	550	kg/cm ²
F'cr requerida	648	kg/cm ²
F'cr requerida	559	kg/cm ²
Promedio	711	kg/cm ²

RESULTADOS	
Edad	28 días
Promedio	711
Desviación Estándar	6.08
% F'c	129%
Coeficiente de Variación	0.86%

- De lo que se puede concluir que los ensayos están dentro de parámetros adecuados.

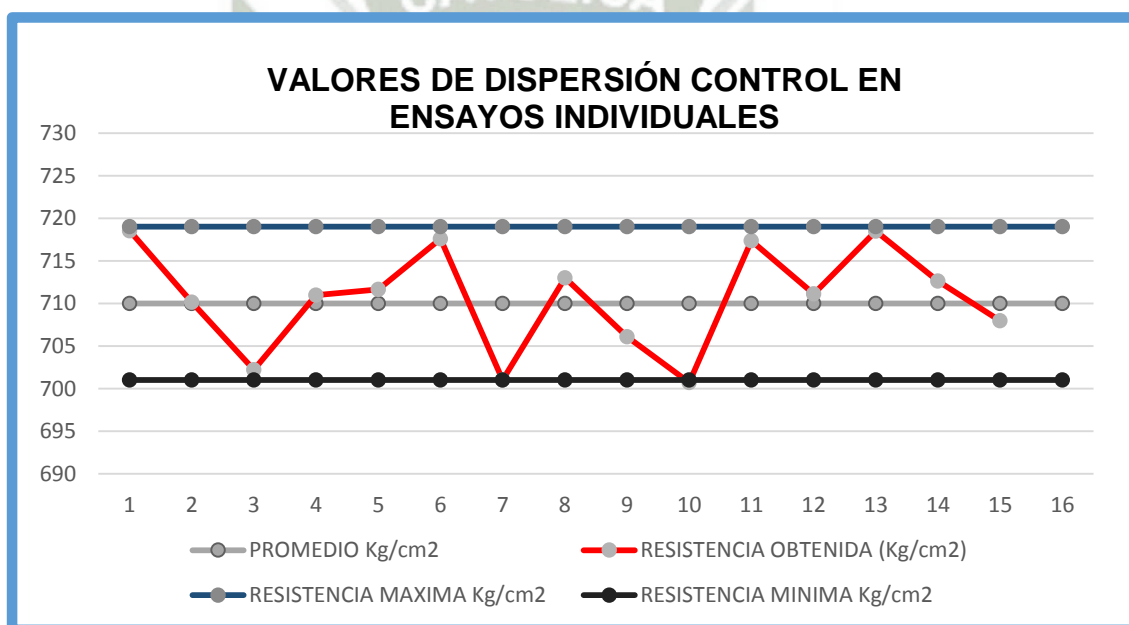


Grafico 40 Dispersión de Ensayos Individuales - Diseño Optimo

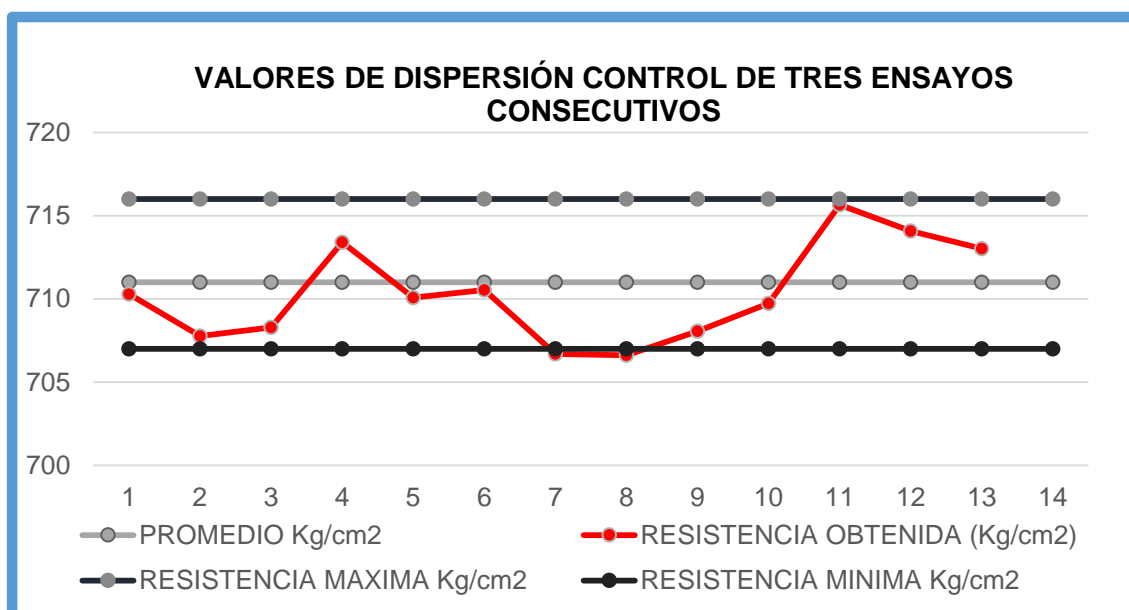


Grafico 42 Dispersión de Tres Ensayos Consecutivos - Diseño Optimo

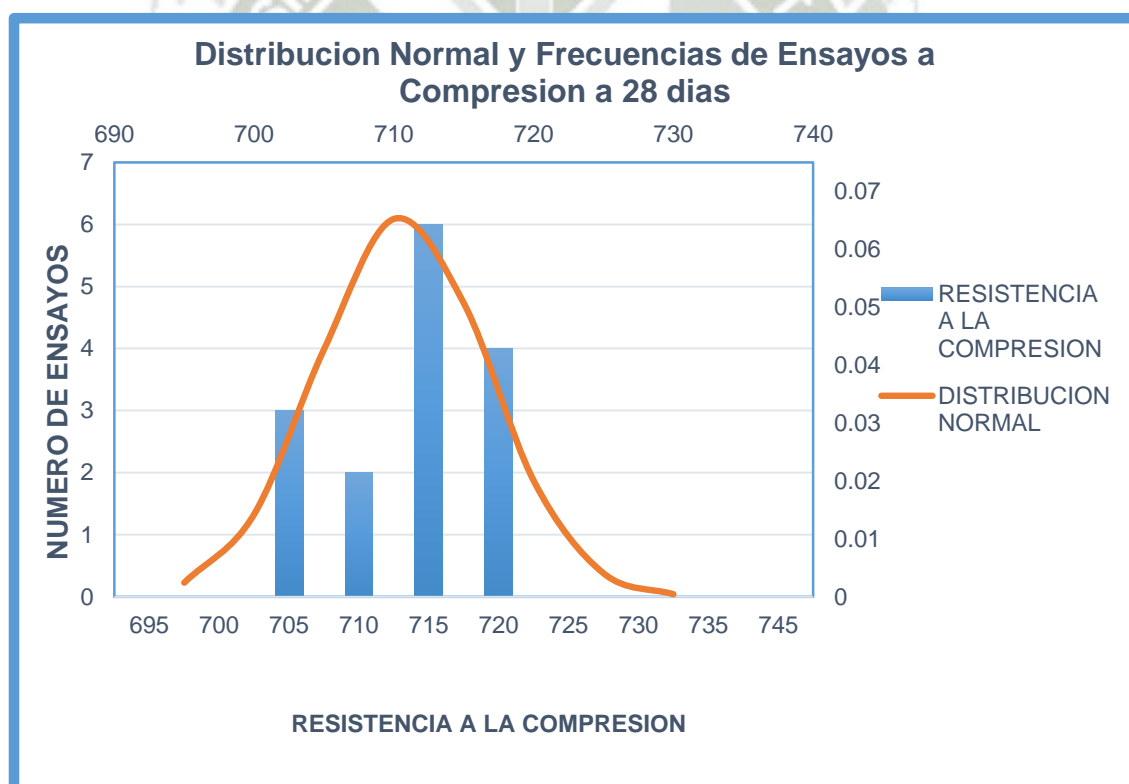


Grafico 41 Distribución Normal - Diseño Óptimo

- **Diseño con Ceniza de Carbón 10%**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 10%			
RESISTENCIA OBTENIDA (Kg/cm ²)	DISPERCION 3 MUESTRAS	EDAD (DIAS)	PROMEDIO DE RESISTENCIAS
727	728	28	728
732	728	28	
725	728	28	
727	729	28	729
731	731	28	
729	727	28	
732	726	28	726
721	726	28	
727	731	28	
732	730	28	730
733	730	28	
724	728	28	
731	731	28	731
728		28	
735		28	

$f'_{cr} = f'_c + 98$	648	kg/cm ²
$f'_{cr} = f'_c + 1.34 \cdot \alpha \cdot D_s$	556	kg/cm ²
$f'_{cr} = f'_c - 35 + 2.33 \cdot \alpha \cdot D_s$	526	kg/cm ²

F'C	28 días	
F'c Especificada	550	kg/cm ²
F'cr requerida	648	kg/cm ²
F'cr requerida	556	kg/cm ²
Promedio	729	kg/cm ²

RESULTADOS	
Edad	28 días
Promedio	729
Desviación Estándar	4
% F'c	133%
Coeficiente de Variación	0.5%

- De lo que se puede concluir que los ensayos están dentro de parámetros adecuados.

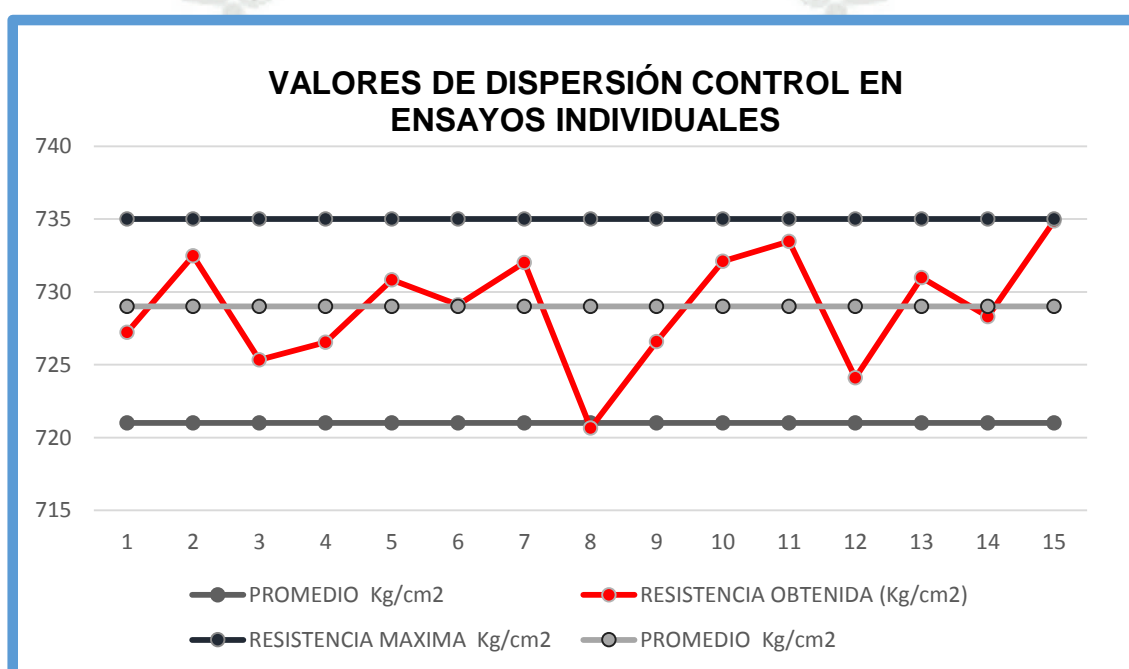


Grafico 43 Dispersión de Ensayos Individuales - Diseño con Ceniza de Carbón 10%

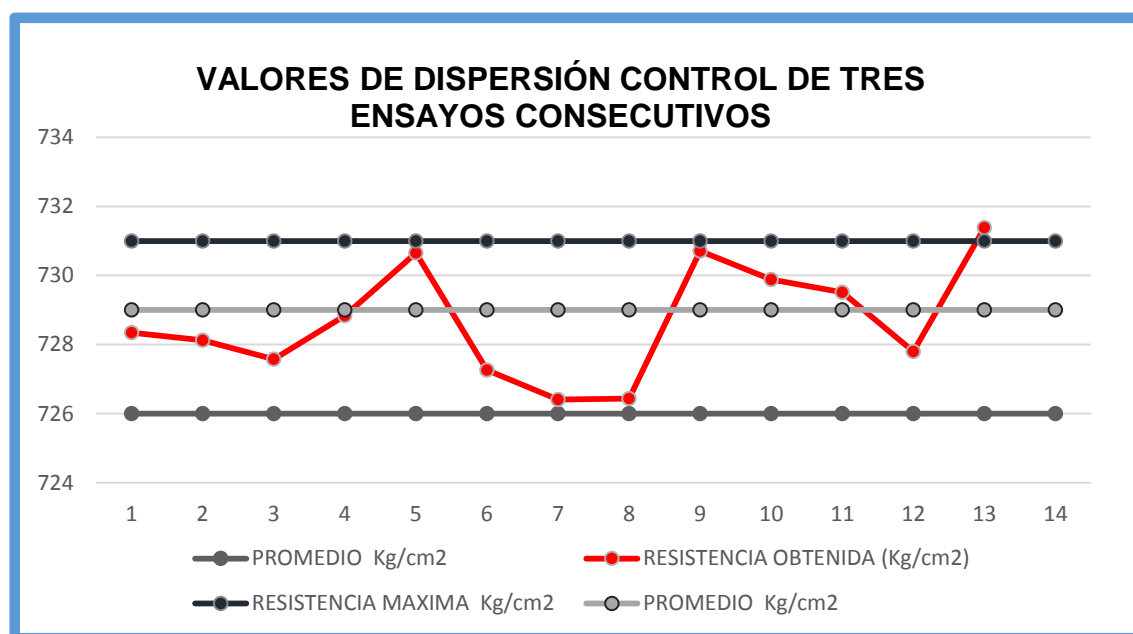


Grafico 45 Dispersión de Tres Ensayos consecutivos - Diseño con Ceniza de Carbón 10%

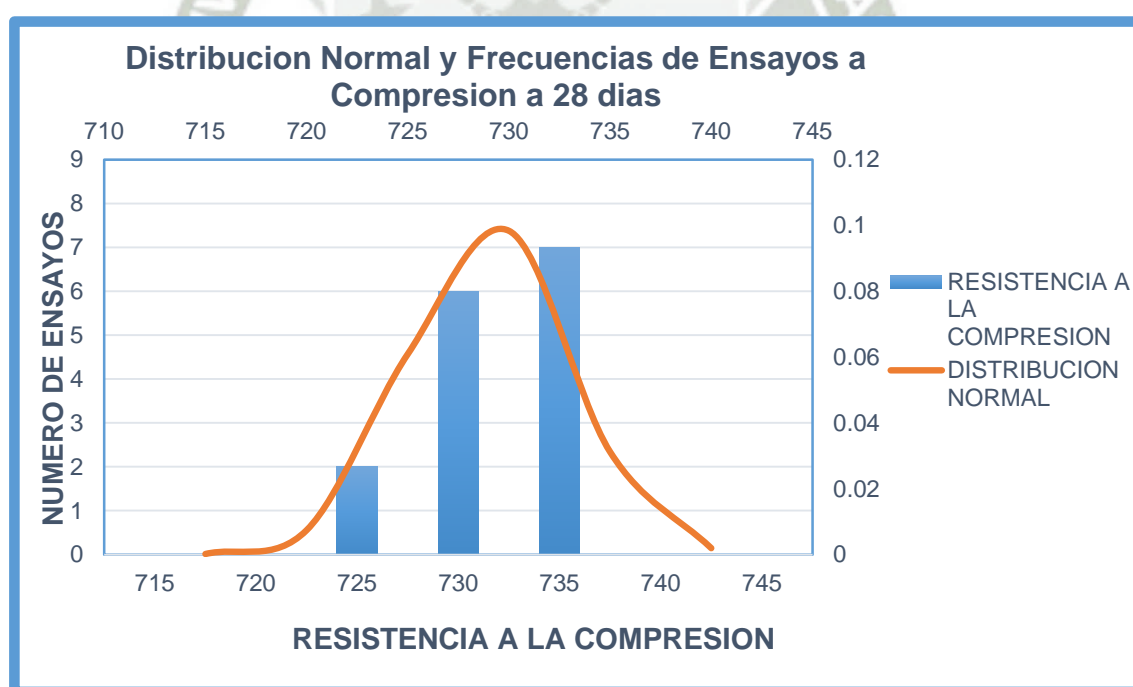


Grafico 44 Distribución Normal - Diseño con Ceniza de Carbón

- **Diseño con Ceniza de Carbón 15%**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 15%			
RESISTENCIA OBTENIDA (Kg/cm ²)	DISPERCION 3 MUESTRAS	EDAD (DIAS)	PROMEDIO DE RESISTENCIAS (Kg/cm ²)
715	710	28	710
712	705	28	
703	702	28	
699	701	28	701
703	705	28	
702	706	28	
708	709	28	709
708	708	28	
710	709	28	
708	707	28	707
709	708	28	
704	707	28	
709	706	28	706
708		28	
701		28	

$f'_{cr} = f'_c + 98$	648	kg/cm ²
$f'_{cr} = f'_c + 1.34 * \alpha * D_s$	557	kg/cm ²
$f'_{cr} = f'_c - 35 + 2.33 * \alpha * D_s$	527	kg/cm ²

F'C	28 días	
F'c Especificada	550	kg/cm ²
F'cr requerida	648	kg/cm ²
F'cr requerida	557	kg/cm ²
Promedio	707	kg/cm ²

RESULTADOS	
Edad	28 días
Promedio	707
Desviación Estándar	4
% F'c	128%
Coeficiente de Variación	0.6%

- De lo que se puede concluir que los ensayos están dentro de parámetros adecuados.

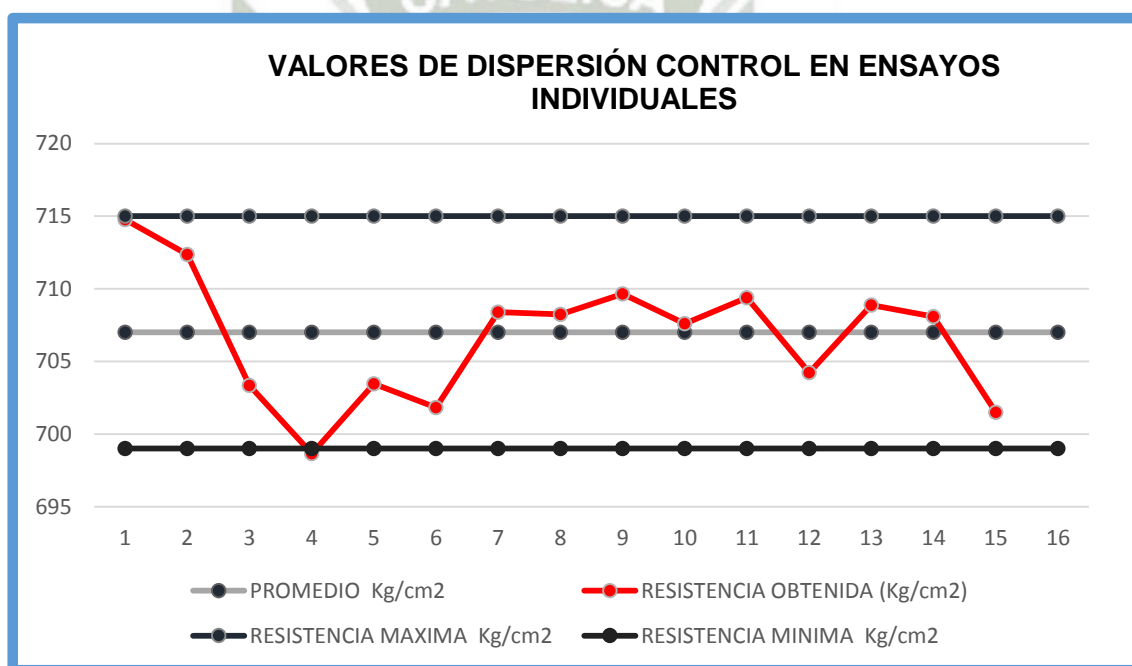


Grafico 46 Dispersión de Ensayos Individuales - Diseño con Ceniza de Carbón 15%

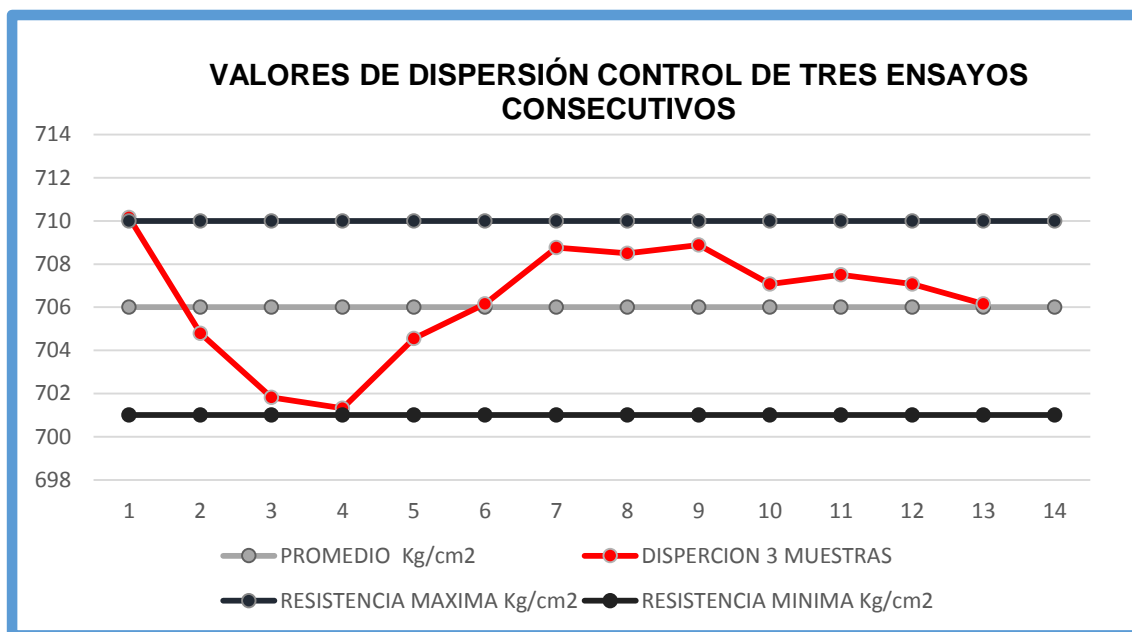


Grafico 47 Dispersión de Tres Ensayos Consecutivos - Diseño con Ceniza de Carbón 10%

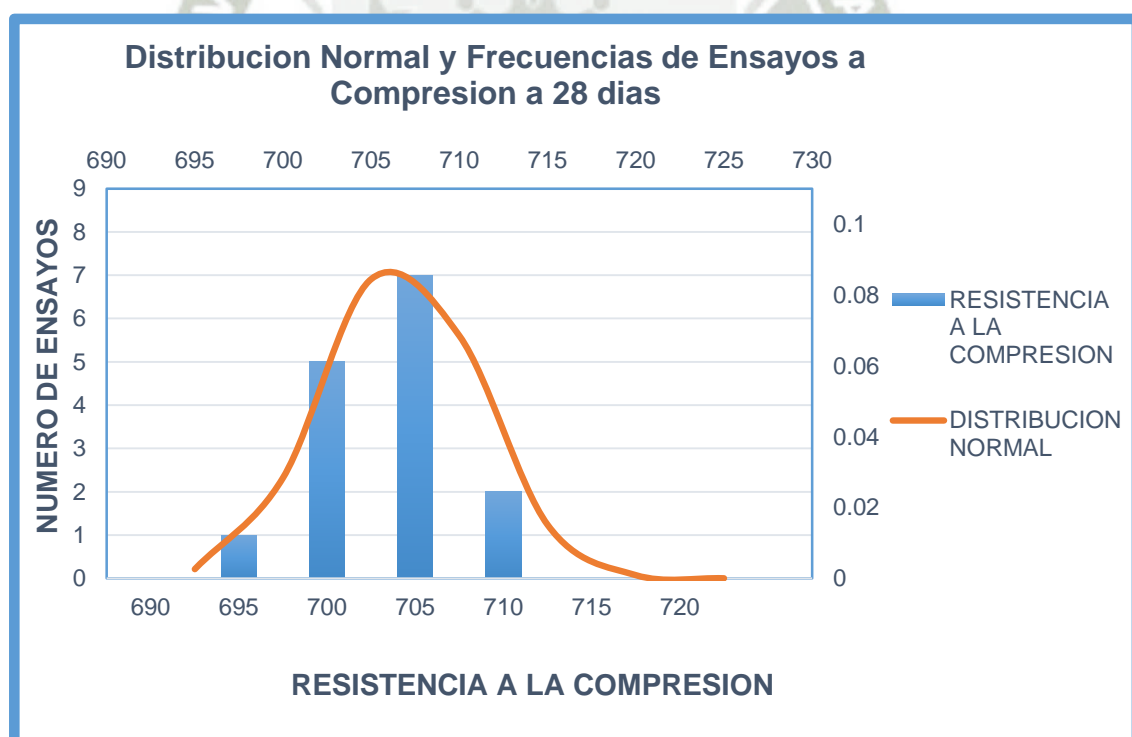


Grafico 48 Distribución Normal - Diseño Con Ceniza de Carbón 15%

- **Diseño con Ceniza de Carbón 20%**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 20%			
RESISTENCIA OBTENIDA (Kg/cm ²)	DISPERCION 3 MUESTRAS	EDAD (DIAS)	PROMEDIO DE RESISTENCIAS (Kg/cm ²)
642	648	28	648
648	652	28	
653	653	28	
655	649	28	649
652	647	28	
638	644	28	
650	645	28	645
645	644	28	
640	646	28	
648	647	28	647
651	646	28	
642	642	28	
647	644	28	644
638		28	
647		28	

$f'_{cr} = f'_c + 98$	648	kg/cm ²
$f'_{cr} = f'_c + 1.34 \cdot \alpha \cdot D_s$	558	kg/cm ²
$f'_{cr} = f'_c - 35 + 2.33 \cdot \alpha \cdot D_s$	529	kg/cm ²

F'C	28 días	
F'c Especificada	550	kg/cm ²
f'cr requerida	648	kg/cm ²
f'cr requerida	558	kg/cm ²
Promedio	646	kg/cm ²

RESULTADOS	
Edad	28 días
Promedio	646
Desviación Estándar	5
% F'c	118%
Coeficiente de Variación	0.8%

- De lo que se puede concluir que los ensayos están dentro de parámetros adecuados.

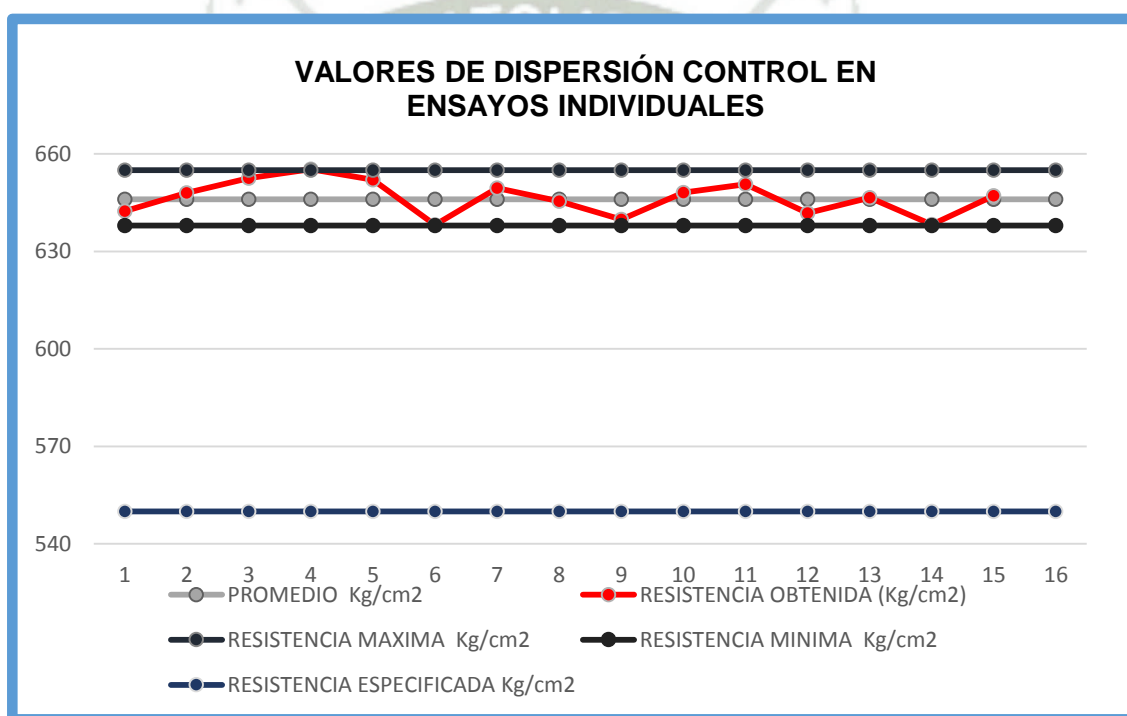


Grafico 49 Dispersión de Ensayos Individuales - Diseño con Ceniza de Carbón 20%

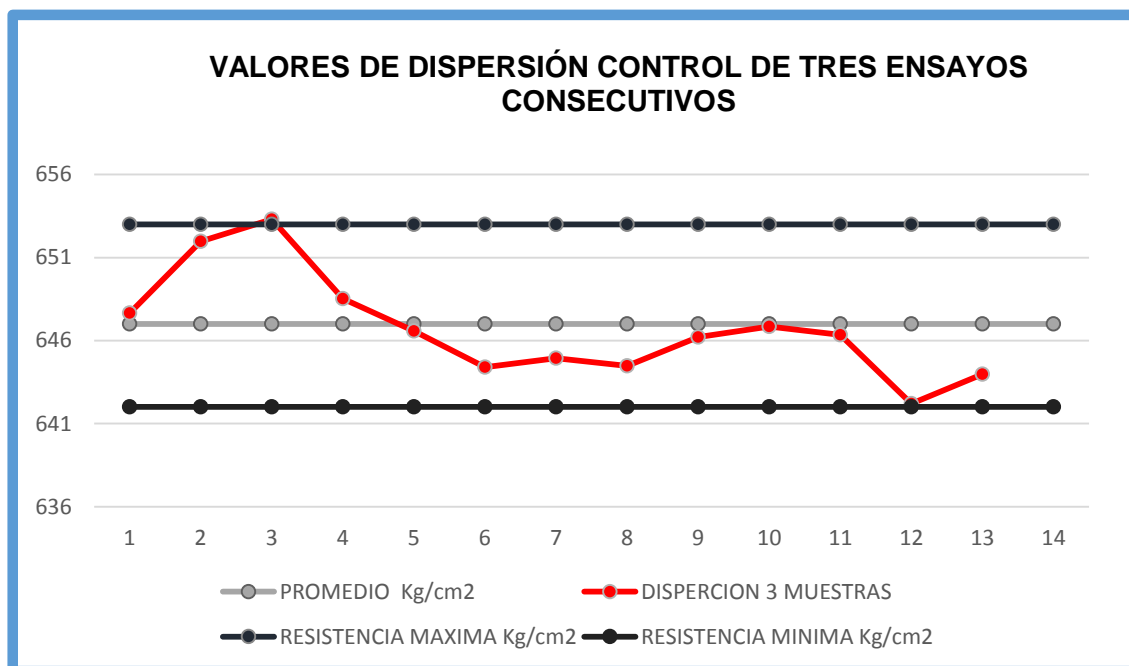


Grafico 50 Dispersión de Tres Consecutivos - Diseño con Ceniza de Carbón 20%

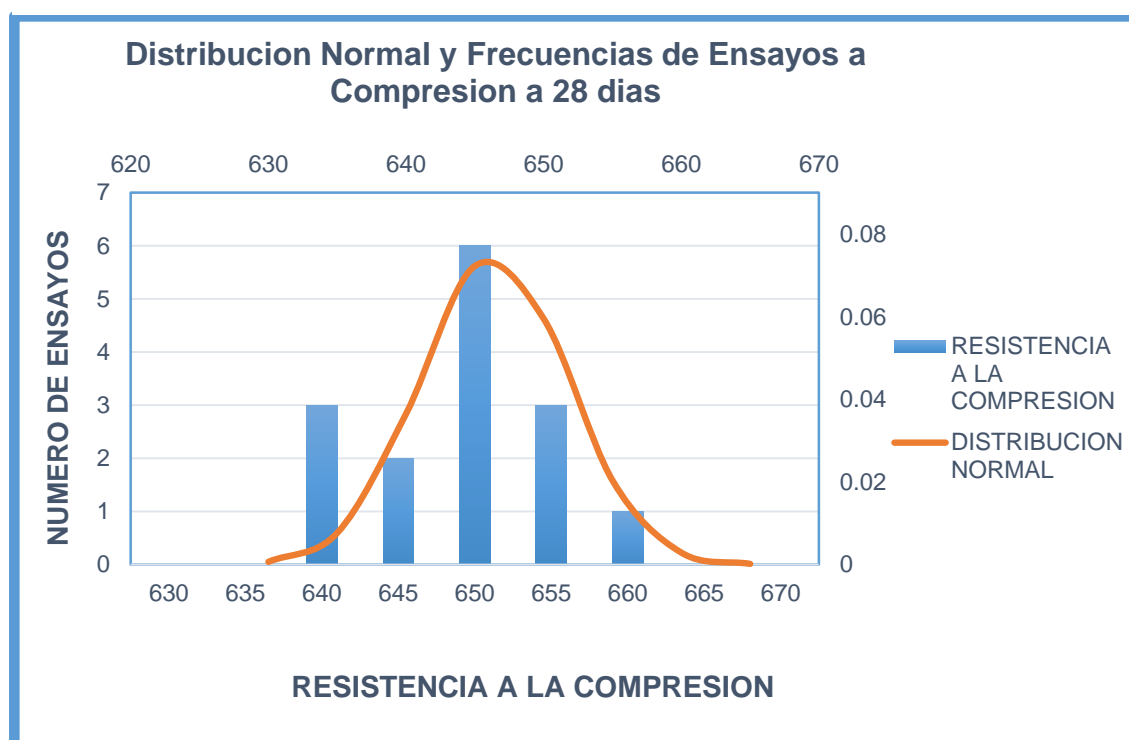


Grafico 51 Distribución Normal - Diseño con Ceniza de Carbón 20%

- **Diseño con Ceniza de Carbón 25%**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 25%			
RESISTENCIA OBTENIDA (Kg/cm ²)	DISPERCION 3 MUESTRAS	EDAD (DIAS)	PROMEDIO DE RESISTENCIAS (Kg/cm ²)
576	580	28	580
581	579	28	
583	577	28	
574	573	28	573
575	573	28	
570	575	28	
573	578	28	578
581	582	28	
580	578	28	
585	577	28	577
569	577	28	
578	578	28	
583	579	28	579
574		28	
579		28	

$f'_{Cr} = f'_c + 98$	648	kg/cm ²
$f'_{Cr} = f'_c + 1.34 \cdot \alpha \cdot D_s$	557	kg/cm ²
$f'_{Cr} = f'_c - 35 + 2.33 \cdot \alpha \cdot D_s$	528	kg/cm ²

F'C	28 días	
F'c Especificada	550	kg/cm ²
f'cr requerida	648	kg/cm ²
f'cr requerida	557	kg/cm ²
Promedio	577	kg/cm ²

RESULTADOS	
Edad	28 días
Promedio	577
Desviación Estándar	5
% F'c	105%
Coeficiente de Variación	0.8%

- De lo que se puede concluir que los ensayos están dentro de parámetros adecuados, este diseño es el indicado para desarrollar una resistencia la compresión requerida, por lo que con este diseño se llegó al objetivo de la investigación.

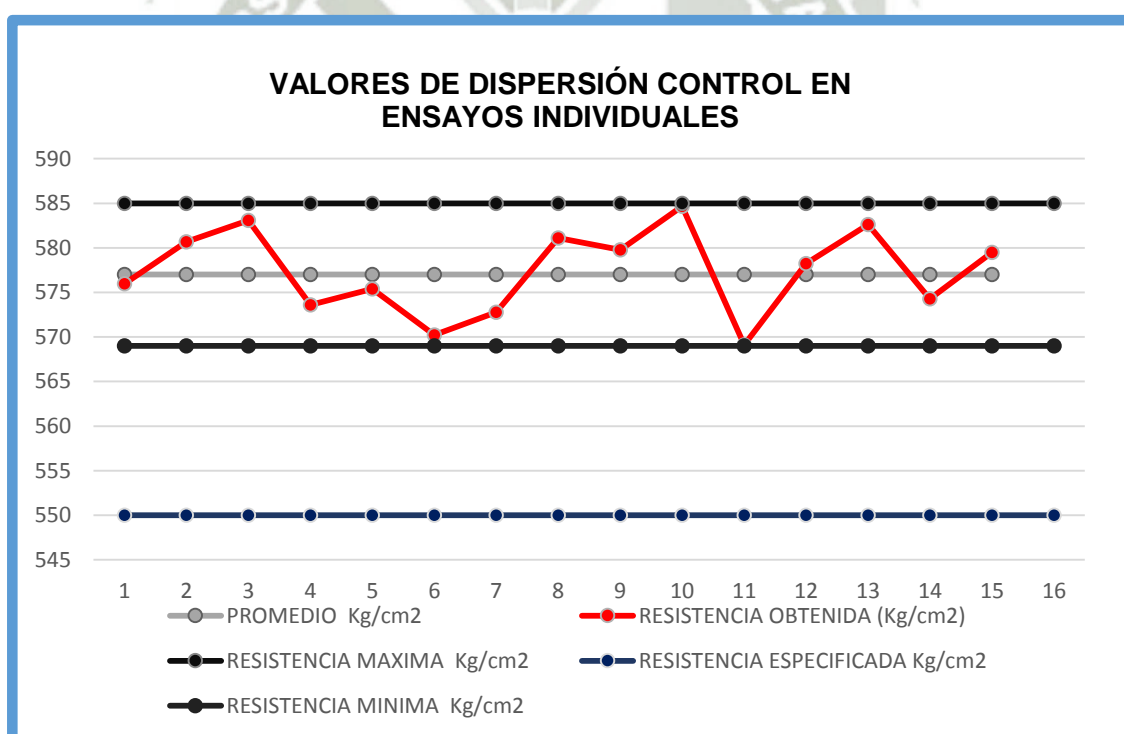


Grafico 52 Dispersión de Ensayos Individuales - Diseño con Ceniza de Carbón 25%

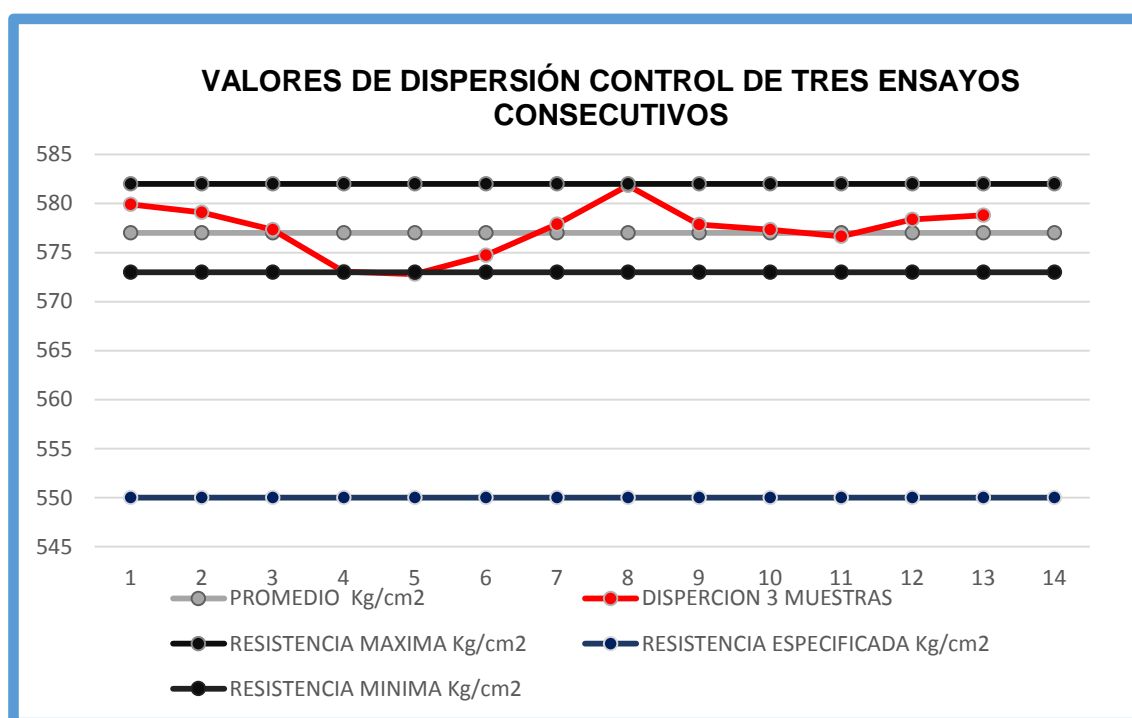


Grafico 54 Dispersión de Tres Ensayos Consecutivos - Diseño con Ceniza de Carbón 20%

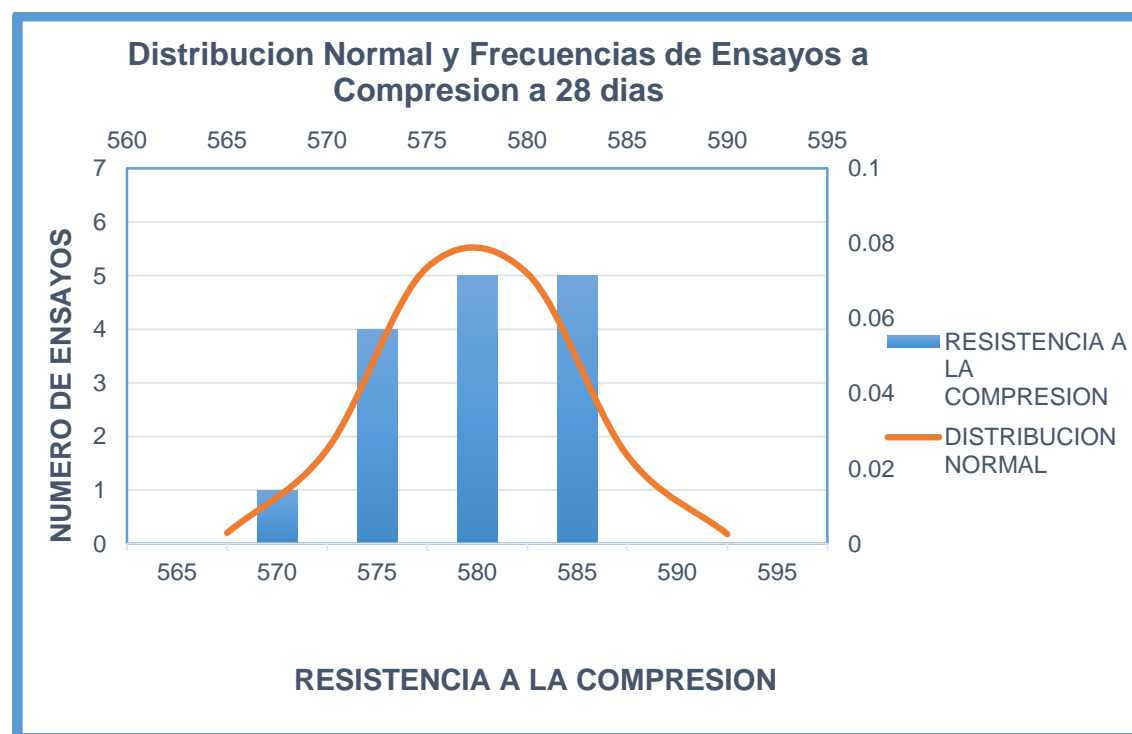


Grafico 53 Distribución Normal - Diseño con Ceniza de Carbón 25%

4.3 COSTO – BENEFICIO.

- **DISEÑO DE MEZCLA $a/c = 0.40$ (SIN ADITIVO)**

DISEÑO DE MEZCLA $a/c=0.40$				
Material	Unidad	Cantidad	P. U. (S/.)	Parcial (S/.)
Cemento	bls.	12.71	22.50	285.98
Agua	m3	0.216	0.75	0.16
Arena	m3	0.278	45.00	12.51
Piedra 3/4"	m3	0.314	48.00	15.07
			TOTAL (S/.)	313.72

Cuadro 43 Costo Diseño de Mezcla Convencional

- **DISEÑO OPTIMO DE MEZCLA $a/c = 0.40$**

DISEÑO OPTIMO DE MEZCLA $a/c=0.40$				
Material	Unidad	Cantidad	P. U. (S/.)	Parcial (S/.)
Cemento	bls.	10.35	22.50	232.88
Agua	m3	0.176	0.75	0.13
Arena	m3	0.312	45.00	14.04
Piedra 3/4"	m3	0.353	48.00	16.94
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51
			TOTAL (S/.)	315.91

Cuadro 44 Costo Diseño de Mezcla Optimo

- **DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 10% $a/c = 0.40$**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 10% $a/c=0.40$				
Material	Unidad	Cantidad	P. U. (S/.)	Parcial (S/.)
Cemento	bls.	9.32	22.50	209.70
Agua	m3	0.176	0.75	0.13
Arena	m3	0.309	45.00	13.91
Piedra 3/4"	m3	0.35	48.00	16.80
Ceniza de Carbón 10%	Kg	44	0.37	16.28
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51
TOTAL (S/.)				308.73

Cuadro 45 Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 10%

- **DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 15% $a/c = 0.40$**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 15% $a/c=0.40$				
Material	Unidad	Cantidad	P. U. (S/.)	Parcial (S/.)
Cemento	bls	8.8	22.50	198.00
Agua	m3	0.176	0.75	0.13
Arena	m3	0.308	45.00	13.86
Piedra 3/4"	m3	0.348	48.00	16.70
Ceniza de Carbón 15%	Kg	66	0.37	24.42
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51
TOTAL (S/.)				305.03

Cuadro 46 Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 15%

- **DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 20% $a/c = 0.40$**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 20% $a/c=0.40$				
Material	Unidad	Cantidad	P. U. (S/.)	Parcial (S/.)
Cemento	bls	8.28	22.50	186.30
Agua	m3	0.176	0.75	0.13
Arena	m3	0.307	45.00	13.82
Piedra 3/4"	m3	0.347	48.00	16.66
Ceniza de Carbón 20%	Kg	88	0.37	32.56
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51
TOTAL (S/.)				301.38

Cuadro 47 Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 20%

- **DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 25% $a/c = 0.40$**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBON 25% $a/c=0.40$				
Material	Unidad	Cantidad	P. U. (S/.)	Parcial (S/.)
Cemento	bls	7.76	22.50	174.60
Agua	m3	0.176	0.75	0.13
Arena	m3	0.306	45.00	13.77
Piedra 3/4"	m3	0.345	48.00	16.56
Ceniza de Carbón 25%	Kg	110	0.37	40.70
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51
TOTAL (S/.)				297.68

Cuadro 48 Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 25%

- ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTO - BENEFICIO

DISEÑO	$f'c$ (Kg/cm ²) 28 días	Costo (S/.)
DISEÑO DE MEZCLA $a/c=0.40$	597	313.72
DISEÑO DE MEZCLA OPTIMO	711	315.91
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 10%	729	308.73
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 15%	707	305.03
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 20%	647	301.38
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 25%	577	297.68

Cuadro 49 Análisis Comparativo de Costos

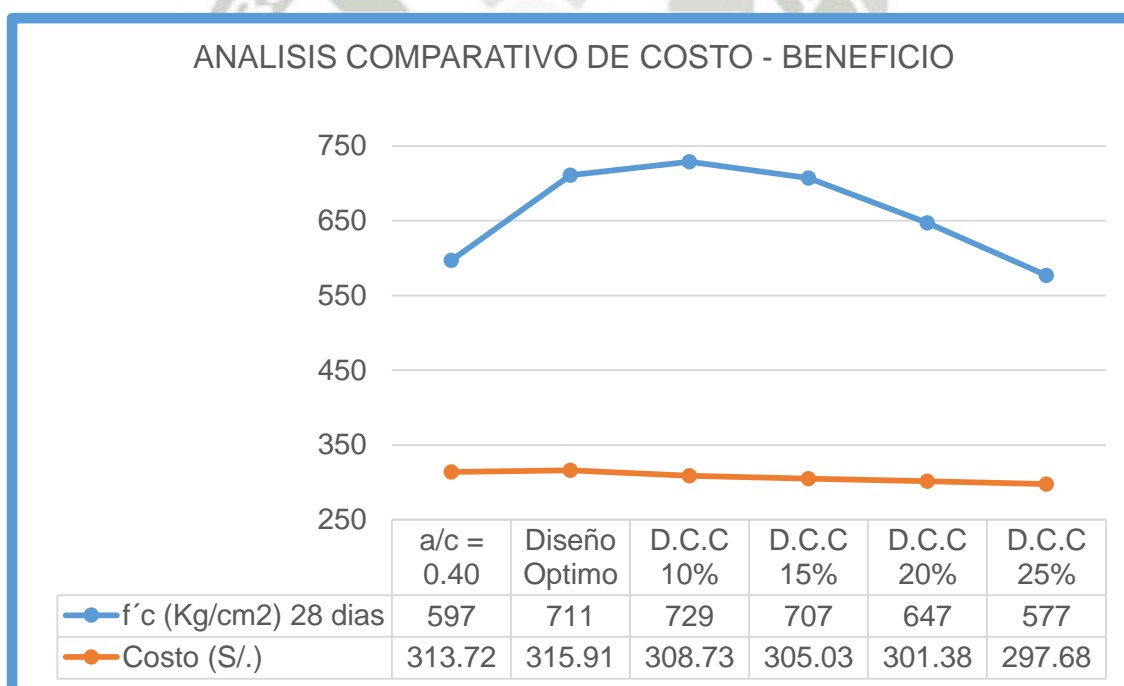


Grafico 55 Análisis de Costo Beneficio

- ANÁLISIS COSTOS POR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

DISEÑO	$f'c$ (Kg/cm ²) 28 días	Costo (S/.)	Costo (S/.)/(Kg/cm ²)
DISEÑO DE MEZCLA a/c=0.40	597	S/. 313.72	0.53
DISEÑO DE MEZCLA OPTIMO	711	S/. 315.91	0.44
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 10%	729	S/. 308.73	0.42
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 15%	707	S/. 305.03	0.43
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 20%	647	S/. 301.38	0.47
DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE CARBON 25%	577	S/. 297.68	0.52

Cuadro 50 Costo por Resistencia a la Compresión

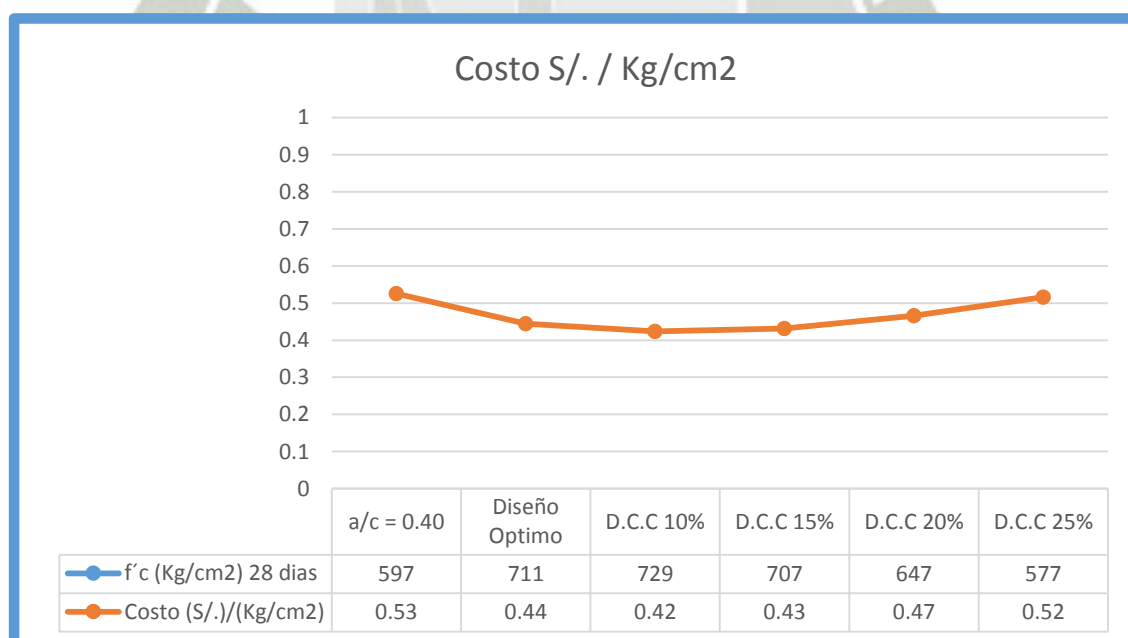


Grafico 56 Costo por Resistencia a la Compresión

- ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS
- DISEÑO DE MEZCLA $a/c = 0.40$ (SIN ADITIVO)

PARTIDA	Concreto f'c = 550 Kg/cm2				Unidad
					m3
Especificaciones:	Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibradora a gasolina de 4HP; winche eléctrico cap. 0.15m3/balde y 4.8 HP				
Cuadrilla	Preparación y vaciado		0.2 Capataz + 2 Operarios + 2 Oficiales + 8 peones		
Rendimiento	Preparación y vaciado		20 m3/día	Costo Total	S/. 414.57
DESCRIPCION	UND	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					320.07
Cemento Portland Tipo I	bls	12.71	23.00	292.33	
Arena Gruesa	m3	0.278	45.00	12.51	
Piedra Chancada de 3/4"	m3	0.314	48.00	15.07	
Agua	m3	0.216	0.75	0.16	
MANO DE OBRA					78.54
Capataz	hh	0.08	20.10	1.61	
Operario	hh	0.8	18.28	14.62	
Oficial	hh	0.8	15.31	12.25	
Peón	hh	3.2	13.77	44.06	
Operador Equipo Liviano	hh	0.4	15.00	6.00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					15.956
Mezcladora 9-11p3	hm	0.4	12.00	4.80	
Vibrador 4HP	hm	0.4	8.00	3.20	
Winche Eléctrico	hm	0.4	14.00	5.60	
Herramientas (3%MO)		0.03	78.54	2.36	

- **DISEÑO OPTIMO DE MEZCLA $a/c = 0.40$**

PARTIDA	Concreto $f'c = 550 \text{ Kg/cm}^2$ + Superplastificante + Retardante de Fragua				Unidad
					m3
Especificaciones:	Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibradora a gasolina de 4HP; winche eléctrico cap. 0.15m3/balde y 4.8 HP				
Cuadrilla	Preparación y vaciado	0.2 Capataz + 2 Operarios + 2 Oficiales + 8 peones			
Rendimiento	Preparación y vaciado	20 m3/día	Costo Total	S/. 415.58	
DESCRIPCION	UND	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					321.08
Cemento Portland Tipo I	bls	10.35	23.00	238.05	
Arena Gruesa	m3	0.312	45.00	14.04	
Piedra Chancada de 3/4"	m3	0.353	48.00	16.94	
Agua	m3	0.176	0.75	0.13	
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41	
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51	
MANO DE OBRA					78.54
Capataz	hh	0.08	20.10	1.61	
Operario	hh	0.8	18.28	14.62	
Oficial	hh	0.8	15.31	12.25	
Peón	hh	3.2	13.77	44.06	
Operador Equipo Liviano	hh	0.4	15.00	6.00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					15.96
Mezcladora 9-11p3	hm	0.4	12.00	4.80	
Vibrador 4HP	hm	0.4	8.00	3.20	
Winche Eléctrico	hm	0.4	14.00	5.60	
Herramientas (3%MO)		0.03	78.54	2.36	

• **DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 10% a/c = 0.40**

PARTIDA	Concreto f'c = 550 Kg/cm ² + Superplastificante + Retardante de Fragua + Ceniza de Carbón 10%				Unidad
					m3
Especificaciones:	Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibradora a gasolina de 4HP; winche eléctrico cap. 0.15m3/balde y 4.8 HP				
Cuadrilla	Preparación y vaciado	0.2 Capataz + 2 Operarios + 2 Oficiales + 8 peones			
Rendimiento	Preparación y vaciado	20 m3/día	Costo Total	S/. 407.89	
DESCRIPCION	UND	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					313.39
Cemento Portland Tipo I	bls	9.32	23.00	214.36	
Arena Gruesa	m3	0.309	45.00	13.91	
Piedra Chancada de 3/4"	m3	0.350	48.00	16.80	
Agua	m3	0.176	0.75	0.13	
Ceniza de Carbón 10%	Kg	44.00	0.37	16.28	
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41	
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51	
MANO DE OBRA					78.54
Capataz	hh	0.08	20.10	1.61	
Operario	hh	0.8	18.28	14.62	
Oficial	hh	0.8	15.31	12.25	
Peón	hh	3.2	13.77	44.06	
Operador Equipo Liviano	hh	0.4	15.00	6.00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					15.96
Mezcladora 9-11p3	hm	0.4	12.00	4.80	
Vibrador 4HP	hm	0.4	8.00	3.20	
Winche Eléctrico	hm	0.4	14.00	5.60	
Herramientas (3%MO)		0.03	78.54	2.36	

• **DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 15% a/c = 0.40**

PARTIDA	Concreto f'c = 550 Kg/cm ² + Superplastificante + Retardante de Fragua + Ceniza de Carbón 15 %				Unidad
					m3
Especificaciones:	Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibradora a gasolina de 4HP; winche eléctrico cap. 0.15m3/balde y 4.8 HP				
Cuadrilla	Preparación y vaciado	0.2 Capataz + 2 Operarios + 2 Oficiales + 8 peones			
Rendimiento	Preparación y vaciado	20 m3/día	Costo Total	S/. 398.86	
DESCRIPCION	UND	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					304.36
Cemento Portland Tipo I	bls	8.8	23.00	202.40	
Arena Gruesa	m3	0.308	45.00	13.86	
Piedra Chancada de 3/4"	m3	0.348	48.00	16.70	
Agua	m3	0.176	0.75	0.13	
Ceniza de Carbón 15%	Kg	66	0.37	24.42	
Viscocrete 1110	Kg	3.26	13.40	43.68	
Plastiment TM 12	Kg	0.57	5.55	3.16	
MANO DE OBRA					78.54
Capataz	hh	0.08	20.10	1.61	
Operario	hh	0.8	18.28	14.62	
Oficial	hh	0.8	15.31	12.25	
Peón	hh	3.2	13.77	44.06	
Operador Equipo Liviano	hh	0.4	15.00	6.00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					15.96
Mezcladora 9-11p3	hm	0.4	12.00	4.80	
Vibrador 4HP	hm	0.4	8.00	3.20	
Winche Eléctrico	hm	0.4	14.00	5.60	
Herramientas (3%MO)		0.03	78.54	2.36	

• **DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 20% a/c = 0.40**

PARTIDA	Concreto f'c = 550 Kg/cm ² + Superplastificante + Retardante de Fragua + Ceniza de Carbón 20 %				Unidad
					m3
Especificaciones:	Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibradora a gasolina de 4HP; winche eléctrico cap. 0.15m3/balde y 4.8 HP				
Cuadrilla	Preparación y vaciado	0.2 Capataz + 2 Operarios + 2 Oficiales + 8 peones			
Rendimiento	Preparación y vaciado	20 m3/día	Costo Total	S/. 400.02	
DESCRIPCION	UND	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					305.52
Cemento Portland Tipo I	bls	8.28	23.00	190.44	
Arena Gruesa	m3	0.307	45.00	13.82	
Piedra Chancada de 3/4"	m3	0.347	48.00	16.66	
Agua	m3	0.176	0.75	0.13	
Ceniza de Carbón 20%	Kg	88.00	0.37	32.56	
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41	
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51	
MANO DE OBRA					78.54
Capataz	hh	0.08	20.10	1.61	
Operario	hh	0.8	18.28	14.62	
Oficial	hh	0.8	15.31	12.25	
Peón	hh	3.2	13.77	44.06	
Operador Equipo Liviano	hh	0.4	15.00	6.00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					15.96
Mezcladora 9-11p3	hm	0.4	12.00	4.80	
Vibrador 4HP	hm	0.4	8.00	3.20	
Winche Eléctrico	hm	0.4	14.00	5.60	
Herramientas (3%MO)		0.03	78.54	2.36	

• DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZAS DE CARBON 25% $a/c = 0.40$

PARTIDA	Concreto $f'c = 550 \text{ Kg/cm}^2$ + Superplastificante + Retardante de Fragua + Ceniza de Carbón 25 %				Unidad
					m3
Especificaciones:	Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibradora a gasolina de 4HP; winche eléctrico cap. 0.15m3/balde y 4.8 HP				
Cuadrilla	Preparación y vaciado	0.2 Capataz + 2 Operarios + 2 Oficiales + 8 peones			
Rendimiento	Preparación y vaciado	20 m3/día	Costo Total	S/. 396.06	
DESCRIPCION	UND	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					301.56
Cemento Portland Tipo I	bls	7.76	23.00	178.48	
Arena Gruesa	m3	0.306	45.00	13.77	
Piedra Chancada de 3/4"	m3	0.345	48.00	16.56	
Agua	m3	0.176	0.75	0.13	
Ceniza de Carbón 25%	Kg	110	0.37	40.70	
Viscocrete 1110	Kg	3.26	14.85	48.41	
Plastiment TM 12	Kg	0.57	6.15	3.51	
MANO DE OBRA					78.54
Capataz	hh	0.08	20.10	1.61	
Operario	hh	0.8	18.28	14.62	
Oficial	hh	0.8	15.31	12.25	
Peón	hh	3.2	13.77	44.06	
Operador Equipo Liviano	hh	0.4	15.00	6.00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					15.96
Mezcladora 9-11p3	hm	0.4	12.00	4.80	
Vibrador 4HP	hm	0.4	8.00	3.20	
Winche Eléctrico	hm	0.4	14.00	5.60	
Herramientas (3%MO)		0.03	78.54	2.36	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se logró optimizar la cantidad de cemento en el diseño de mezcla utilizando cenizas de carbón y aditivos superplastificante y retardante de fragua, cuidando la calidad del concreto.
2. La mezcla con mejor desempeño es la que se encuentra en un rango de 10% a 15% de sustitución a una edad de 28 días, sin embargo al ser una adición en un cemento Portland, se incrementara esta resistencia gradualmente a lo largo de los meses.
3. Las características físicas y químicas de la ceniza de carbón son variables, pues estas depende tanto del tipo de la materia prima como del proceso de combustión y recolección.
4. Se demostró que la ceniza de carbón al igual que una puzolana natural, retarda las resistencias iniciales, pero que en el camino de su evolución esta se incrementa superando un diseño patrón.
5. Las construcciones de hoy en día, deben de preservar la calidad del concreto, tomando medidas de control riguroso en sus dosificaciones, pues este concepto se verá reflejado en la durabilidad de la obra.

6. El peso unitario del concreto se reduce directamente al incremento de la sustitución de la ceniza de carbón, por lo que en una construcción reduciría la carga muerta. A comparación de un diseño patrón se puede llegar a reducir en un 4.06 % el peso unitario, tomando la máxima sustitución de esta investigación.
7. Debido a la finura de este material, disminuye los vacíos y mejora la trabajabilidad, reduciendo la energía necesaria para la manejabilidad de la mezcla. Al reducir vacíos en la mezcla le permite ser más durable.
8. El tiempo de fragua se reduce en función al aumento de la sustitución de las cenizas de carbón, por lo que podría ser controlado incrementando el porcentaje de incidencia del aditivo retardante de Fragua. La diferencia de tiempo de Fraguado inicial del Diseño Optimo y el Diseño con Ceniza de Carbón 25%, tiene una diferencia de 1 hora y 37 minutos, para el caso de Fragua Final una diferencia de 1 hora y 34 minutos.
9. La sustitución de cenizas de Carbón no tienen gran influencia en pruebas a flexión, sin embargo estos resultados podrían variar si se utilizaran algún aditivo específico para estas pruebas, fibras de polipropileno o fibras metálicas.
10. Utilizando un $a/c=0.40$, el agua de amasado es insuficiente, por lo que para relaciones más bajas es necesario utilizar aditivos plastificantes, para conservar dicha a/c .

11. La contracción del concreto se va incrementando en proporción a la sustitución de cenizas de carbón, probablemente porque se produce una pasta más fina, cabe indicar que el contenido de aire no tiene efecto sobre la contracción.
12. El curado de los especímenes en la primera semana, retrasa el porcentaje de contracción, al concluir el ensayo se nota que el diseño con un porcentaje de ceniza de carbón de 20%, es el que alcanza el mayor valor.
13. En el análisis de costo beneficio se muestra que los precios de una mezcla de concreto sin aditivo es menor a una mezcla de concreto con aditivo, sin embargo las resistencias que se pueden alcanzar empleando aditivos si tienen una gran diferencia.
14. La incidencia de los aditivos son un factor que también impactaron en la investigación, ya sea su slump, tiempo de fragua, resistencia a la compresión, etc. El superplastificante Viscocrete 1110 en conjunto al Plastiment TM 12, redujeron la cantidad de agua hasta en un 24% para una cantidad de cemento de 410 Kg/m³, 18.5% para una cantidad de cemento de 440 Kg/m³ y 13% para una cantidad de cemento de 470 Kg/m³.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más investigaciones sobre el empleo de este material, pues se podría optimizar mayores cantidades de cemento para resistencias a la compresión menores.
2. Realizar estudios destinados para pavimentos, empleando cenizas de Carbón, Diatomitas, Escorias y demás adiciones con aditivos acorde al requerimiento (fibras de polipropileno y metálicas)
3. Realizar ensayos a la compresión con tiempos de curados mayores a 28 días, para observar el comportamiento de las propiedades mecánicas a tiempos de curados más largos.
4. Realizar ensayos de resistencias a sulfatos y ataques de cloruros, a fin de complementar los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFIA

- **Adam M. Neville**, tecnología del concreto.
- **Enrique Riva L.** La naturaleza del concreto y materiales, Primera Edición
Año 2000.
- **Enrique Pasquel C.** Control de Calidad del Concreto, Capítulo Peruano
ACI Perú, 1998.
- **Berndt M. L.** Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and
recycled concrete aggregate, 2009, Vol 23, pp. 2606 – 2013.
- **Sadhana**, Effects of fly Ash fineness on the mechanical properties of
concrete, June 2012, Vol 37, pp. 389 – 403.
- **Portland cement association**, Diseño y control de Mezclas de Concreto,
boletín de Ingeniería EB201 Primera Edición
- **Enrique Pasquel C.** Tópicos de Concreto, Colección del Ingeniero Civil,
Año 1993
- **Tesis Doctoral, Molina O.** Influencia de las cenizas volantes como sustituto
parcial del cemento Portland en la Durabilidad del Hormigón, Madrid.
- **Normas Peruanas ITINTEC (NTP)**
- **Normas ASTM (American Society for Testing and Materials)**
- **CAPECO**, Costos y Presupuestos en Edificaciones, Lima Peru.

INDICICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 1	Límites permisibles para agua de mezclas y curado	35
Tabla 2	Análisis Granulométrico de Agregado Fino	47
Tabla 3	Composición Mineralógica de Cenizas Volante	50
Tabla 4	Clasificación del Carbón ASTM 388 - 84	51
Tabla 5	Ensayo de Fluorescencia y Rayos x – Fuente Yura S.A.	61

CAPITULO III

Tabla 6	Limite Permissible para la granulometría del Agregado Fino	80
Tabla 7	Volumen Unitario de Agua	94
Tabla 8	Contenido de Aire Atrapado	94

CAPITULO IV

Tabla 9	Clasificación de Ensayos	167
----------------	--------------------------	-----

INDICICE DE CUADROS

CAPITULO III

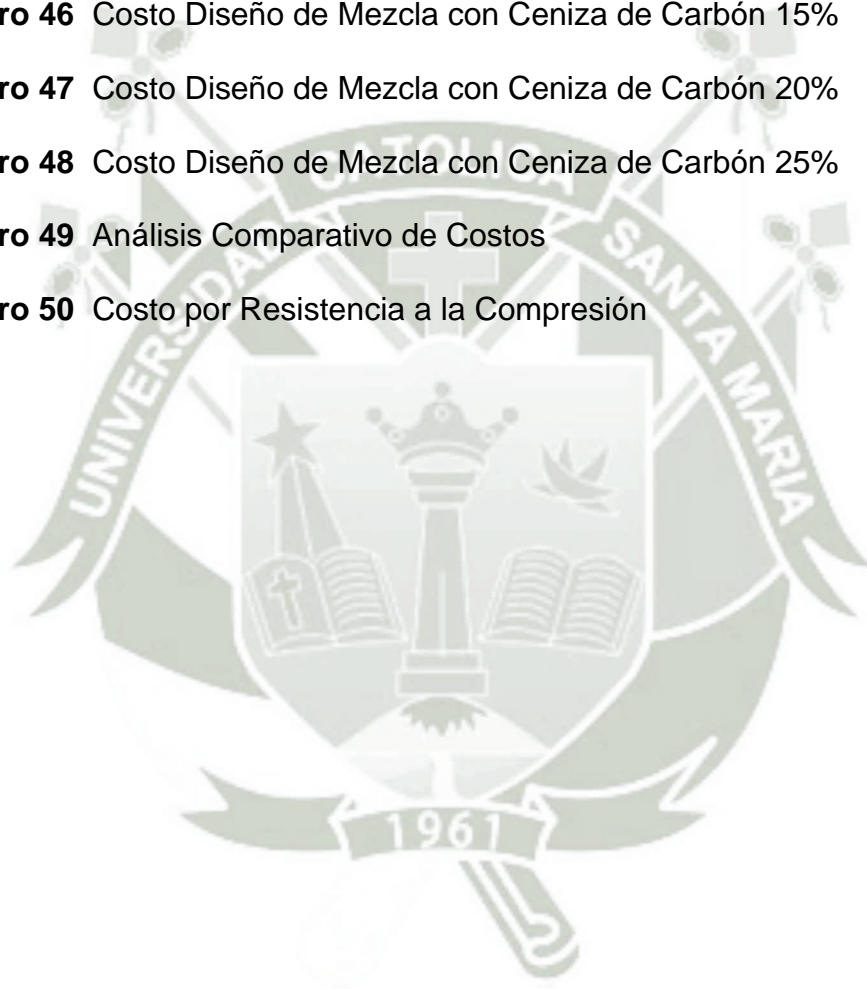
Cuadro 1	Granulometría del Agregado Fino	81
Cuadro 2	Granulometría del Agregado Grueso	86
Cuadro 3	Máxima Compactación de los Agregados	88
Cuadro 4	Incidencia de los Agregados	89
Cuadro 5	Presentación de Diseños Elaborados	103
Cuadro 6	Diseño de Mezcla Convencional $r_f=0.44$	105
Cuadro 7	Diseño de Mezcla Convencional $r_f=0.46$	105
Cuadro 8	Diseño de Mezcla $r_f=0.44$, 410 Kg/m ³ de Cemento	106
Cuadro 9	Diseño de Mezcla $r_f=0.44$, 440 Kg/m ³ de Cemento	106
Cuadro 10	Diseño de Mezcla $r_f=0.44$, 470 Kg/m ³ de Cemento	107
Cuadro 11	Diseño de Mezcla $r_f=0.46$, 410 Kg/m ³ de Cemento	107
Cuadro 12	Diseño de Mezcla $r_f=0.46$, 440 Kg/m ³ de Cemento	108
Cuadro 13	Diseño de Mezcla $r_f=0.46$, 470 Kg/m ³ de Cemento.	108
Cuadro 14	Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 10%	109
Cuadro 15	Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 15%	109
Cuadro 16	Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 20%	110
Cuadro 17	Diseño de Estudio con Cenizas de Carbón 25%	110

CAPITULO IV

Cuadro 18	Asentamiento de Diseños Con Aditivos, $r_f=0.44$	114
Cuadro 19	Asentamiento de Diseños con Aditivos, $r_f=0.46$	115
Cuadro 20	Comparación de Asentamientos, $r_f=0.44$ Vs $r_f=0.46$	116

Cuadro 21	Asentamiento de Diseño de Estudio	117
Cuadro 22	Temperatura del Concreto, $r_f=0.44$	119
Cuadro 23	Temperatura del Concreto, $r_f=0.46$	120
Cuadro 24	Temperatura del Concreto de Estudio	121
Cuadro 25	Contenido de Aire y Peso Unitario $r_f=0.44$	122
Cuadro 26	Contenido de Aire y Peso Unitario $r_f=0.46$	124
Cuadro 27	Contenido de Aire y Peso Unitario - Diseño de Estudio	125
Cuadro 28	Tiempo de Fraguado Diseño Óptimo	131
Cuadro 29	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 10%	133
Cuadro 30	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 15%	135
Cuadro 31	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 20%	137
Cuadro 32	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 25%	139
Cuadro 33	Resistencia a Flexión - Diseño de Estudio	141
Cuadro 34	Resistencia a Flexión 28 Días - Diseño de Estudio	142
Cuadro 35	Resistencia a la Compresión $r_f=0.44$	152
Cuadro 36	Resistencia a la Compresión $r_f=0.46$	153
Cuadro 37	Resistencia a la Compresión Diseño Óptimo	156
Cuadro 38	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 10%	157
Cuadro 39	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 15%	158
Cuadro 40	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 20%	159

Cuadro 41	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 25%	160
Cuadro 42	Comparación de Resistencias a la Compresión	161
Cuadro 43	Costo Diseño de Mezcla Convencional	183
Cuadro 44	Costo Diseño de Mezcla Optimo	183
Cuadro 45	Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 10%	184
Cuadro 46	Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 15%	184
Cuadro 47	Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 20%	185
Cuadro 48	Costo Diseño de Mezcla con Ceniza de Carbón 25%	185
Cuadro 49	Análisis Comparativo de Costos	186
Cuadro 50	Costo por Resistencia a la Compresión	187



INDICE DE GRAFICOS

CAPITULO III

Gráfico 1	Análisis Granulométrico del Agregado Fino	82
Gráfico 2	Análisis Granulométrico de Agregado Grueso	86
Gráfico 3	Curva de la Máxima Compactación de los Agregados	89

CAPITULO IV

Gráfico 4	Asentamiento de Diseños con Aditivos, $r_f=0.44$	115
Gráfico 5	Asentamiento de Diseños con Aditivos, $r_f=0.46$	116
Gráfico 6	Comparación de Asentamientos, $r_f=0.44$ Vs $r_f=0.46$	117
Gráfico 7	Asentamiento de Diseño de Estudio.	118
Gráfico 8	Temperatura del Concreto, $r_f=0.44$	120
Gráfico 9	Temperatura del Concreto, $r_f=0.46$	121
Gráfico 10	Temperatura del Concreto de Estudio	122
Gráfico 11	Contenido de Aire $r_f=0.44$	123
Gráfico 12	Peso Unitario $r_f=0.44$	123
Gráfico 13	Contenido de Aire $r_f=0.46$	124
Gráfico 14	Peso Unitario $r_f=0.46$	125
Gráfico 15	Contenido de Aire Diseño de Estudio	126
Gráfico 16	Peso Unitario - Diseño de Estudio	126
Gráfico 17	Tiempo de Fraguado Diseño Optimo	132
Gráfico 18	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 10%	134
Gráfico 19	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 15%	136
Gráfico 20	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 20%	138

Gráfico 21	Tiempo de Fraguado - Ceniza de Carbón 25%	140
Gráfico 22	Resistencia a Flexión 7 Días - Diseño de Estudio	141
Gráfico 23	Resistencia a Flexión 28 Días - Diseño de Estudio	142
Gráfico 24	Contracción de Diseño Óptimo	145
Gráfico 25	Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 10%	146
Gráfico 26	Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 15%	147
Gráfico 27	Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 20%	148
Gráfico 28	Contracción de Diseño con Ceniza de Carbón 25%	149
Gráfico 29	Comparación de Contracciones de Diseños de Estudio	150
Gráfico 30	Diseño de Mezcla Convencional	151
Gráfico 31	Resistencia a la Compresión $r_f=0.44$	152
Gráfico 32	Resistencia a la Compresión $r_f=0.46$	153
Gráfico 33	Desarrollo de la Resistencia a la Compresión, $r_f=0.44$ Vs $r_f=0.46$	154
Gráfico 34	Resistencia a la Compresión Diseño Óptimo	156
Gráfico 35	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 10%	157
Gráfico 36	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 15%	158
Gráfico 37	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 20%	159
Gráfico 38	Resistencia a la Compresión, Diseño con Ceniza de Carbón 25%	160

Gráfico 39 Comparación de Resistencias a la Compresión	
Diseños de Estudio	162
Gráfico 40 Dispersión de Ensayos Individuales - Diseño Optimo	169
Gráfico 41 Distribución Normal - Diseño Óptimo	170
Gráfico 42 Dispersión de Tres Ensayos Consecutivos - Diseño Optimo	170
Gráfico 43 Dispersión de Ensayos Individuales -	
Diseño con Ceniza de Carbón 10%	172
Gráfico 44 Distribución Normal - Diseño con Ceniza de Carbón	173
Gráfico 45 Dispersión de Tres Ensayos consecutivos -	
Diseño con Ceniza de Carbón 10%	173
Gráfico 46 Dispersión de Ensayos Individuales -	
Diseño con Ceniza de Carbón 15%	175
Gráfico 47 Dispersión de Tres Ensayos Consecutivos -	
Diseño con Ceniza de Carbón 10%	176
Gráfico 48 Distribución Normal - Diseño Con Ceniza de Carbón 15%	176
Gráfico 49 Dispersión de Ensayos Individuales -	
Diseño con Ceniza de Carbón 20%	178
Gráfico 50 Dispersión de Tres Consecutivos -	
Diseño con Ceniza de Carbón 20%	179
Gráfico 51 Distribución Normal - Diseño con Ceniza de Carbón 20%	179
Gráfico 52 Dispersión de Ensayos Individuales -	
Diseño con Ceniza de Carbón 25%	181
Gráfico 53 Distribución Normal - Diseño con Ceniza de Carbón 25%	182

Gráfico 54 Dispersión de Tres Ensayos Consecutivos -

Diseño con Ceniza de Carbón 20% 182

Gráfico 55 Análisis de Costo Beneficio 186

Gráfico 56 Costo por Resistencia a la Compresión 187



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ceniza de Carbón Tipo C	53
Figura 2 Micrografía de Ceniza de Carbón Tipo F	53
Figura 3 Ronald Reagan Building and International Trade Center - Washington DC	58
Figura 4 Metro nacional de Washington	58
Figura 5 “Big Dig” en Boston	59
Figura 6 Hungry Horse Dam	59
Figura 7 Torre Picasso en Madrid	60
Figura 8 Propiedades Físicas de los Agregados	242
Figura 9 Peso Unitario Global de los Agregados	242
Figura 10 Mezcla de Concreto Convencional	243
Figura 11 Slump de Diseño Óptimo	243
Figura 12 Especímenes a Ensayar a la Resistencia a Compresión, muestreo típico en los días que se realizó mezclas de concreto.	244
Figura 13 Ceniza de Carbón Utilizada en el Estudio	244
Figura 14 Muestreo de Vigas que serán sometidas al Ensayo de Flexión	245
Figura 15 Equipo para el Ensayo de Tiempo de Fraguado	245
Figura 16 Ensayo de Tiempo de Fraguado	246
Figura 17 Viga antes del Ensayo de Flexión	246
Figura 18 Viga sometida después del Ensayo de Flexión	247
Figura 19 Ensayo de Resistencia a la Compresión	247
Figura 20 Ensayo de Contracción del Concreto	248
Figura 21 Posa de Curado con temperatura controlada	248

ANEXOS



1. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

- DISEÑO DE MEZCLAS $r_f=0.44$

DISEÑO RF=0.44	FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
M1 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	13/04/2015	16/04/2015	3	10.16	81.07	41060	506	507	511
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.15	80.91	41560	514		
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.11	80.28	40290	502	515	
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.04	79.17	41220	521		
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.12	80.44	41420	515		
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.18	81.39	41580	511		
M2 - 440 Kg/m3 DE CEMENTO	14/04/2015	17/04/2015	3	10.10	80.12	42902	535	533	535
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.14	80.75	42825	530		
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.15	80.91	43250	535	537	
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.17	81.23	43590	537		
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.11	80.28	43870	546		
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.19	81.55	43120	529		
M3 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	15/04/2015	18/04/2015	3	10.11	80.28	47550	592	601	606
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.15	80.91	49980	618		
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.16	81.07	48170	594	611	
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.18	81.39	49820	612		
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.21	81.87	49760	608		
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.14	80.75	49590	614		

DISEÑO RF=0.44	FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
M1 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	13/04/2015	20/04/2015	7	10.18	81.39	48660	598	612	616
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.12	80.44	49920	621		
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.14	80.75	49880	618		
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.05	79.33	49460	623	620	
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.18	81.39	50180	617		
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.19	81.55	50520	619		
M2 - 440 Kg/m3 DE CEMENTO	14/04/2015	21/04/2015	7	10.15	80.91	51080	631	634	635
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.17	81.23	51980	640		
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.16	81.07	51040	630		
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.00	78.54	50420	642	637	
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.11	80.28	50280	626		
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.08	79.80	51260	642		
M3 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	15/04/2015	22/04/2015	7	10.11	80.28	55160	687	682	681
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.10	80.12	54860	685		
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.14	80.75	54420	674		
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.21	81.87	55920	683	679	
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.15	80.91	54280	671		
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.11	80.28	54950	685		

DISEÑO RF=0.44	FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
M1 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	13/04/2015	11/05/2015	28	10.12	80.44	55820	694	703	706
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.15	80.91	57110	706		
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.15	80.91	57380	709		
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.00	78.54	56530	720	708	
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.14	80.75	56820	704		
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.16	81.07	56820	701		
M2 - 440 Kg/m3 DE CEMENTO	14/04/2015	12/05/2015	28	10.10	80.12	59500	743	736	736
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.14	80.75	58900	729		
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.18	81.39	59920	736		
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.14	80.75	59790	740	736	
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.15	80.91	59520	736		
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.00	78.54	57450	731		
M3 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	15/04/2015	13/05/2015	28	10.17	81.23	66590	820	818	812
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.15	80.91	65890	814		
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.17	81.15	66520	820		
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.20	81.71	65890	806	806	
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.05	79.33	64220	810		
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.15	80.91	65020	804		

• **DISEÑO DE MEZCLAS $r_f=0.46$**

DISEÑO RF=0.46	FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
M1 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	13/04/2015	16/04/2015	3	10.15	80.91	48620	601	587	587
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.19	81.55	47750	586		
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.15	80.91	46380	573		
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.05	79.33	47520	599	588	
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.14	80.75	47620	590		
	13/04/2015	16/04/2015	3	10.19	81.55	46820	574		
M2 - 440 Kg/m3 DE CEMENTO	14/04/2015	17/04/2015	3	10.03	79.01	48060	608	594	597
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.14	80.75	47410	587		
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.14	80.75	47410	587		
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.08	79.80	48130	603	600	
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.18	81.39	48460	595		
	14/04/2015	17/04/2015	3	10.14	80.75	48580	602		
M3 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	15/04/2015	18/04/2015	3	10.15	80.91	48520	600	607	613
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.11	80.28	48550	605		
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.18	81.39	50270	618		
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.00	78.54	49030	624	619	
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.11	80.28	49450	616		
	15/04/2015	18/04/2015	3	10.18	81.39	50130	616		

DISEÑO RF=0.46	FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
M1 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	13/04/2015	20/04/2015	7	10.21	81.87	51510	629	625	628
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.20	81.71	50460	618		
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.15	80.91	50950	630		
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.14	80.75	49720	616	630	
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.18	81.39	52030	639		
	13/04/2015	20/04/2015	7	10.16	81.07	51420	634		
M2 - 440 Kg/m3 DE CEMENTO	14/04/2015	21/04/2015	7	10.10	80.12	51440	642	641	636
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.15	80.91	51120	632		
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.14	80.75	52540	651		
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.00	78.54	50420	642	630	
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.02	78.85	48920	620		
	14/04/2015	21/04/2015	7	10.05	79.33	49760	627		
M3 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	15/04/2015	22/04/2015	7	10.19	81.55	51920	637	651	651
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.14	80.75	52860	655		
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.16	81.07	53540	660		
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.18	81.39	51780	636	651	
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.11	80.28	52240	651		
	15/04/2015	22/04/2015	7	10.00	78.54	52270	666		

DISEÑO RF=0.46	FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
M1 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	13/04/2015	11/05/2015	28	10.19	81.55	57580	706	691	691
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.15	80.91	54720	676		
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.14	80.75	55870	692		
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.18	81.39	54590	671	690	
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.19	81.55	56870	697		
	13/04/2015	11/05/2015	28	10.17	81.23	56950	701		
M2 - 440 Kg/m3 DE CEMENTO	14/04/2015	12/05/2015	28	10.15	80.91	57820	715	712	717
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.14	80.75	57260	709		
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.18	81.39	57970	712		
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.15	80.91	58420	722		
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.13	80.60	58720	729	715	
	14/04/2015	12/05/2015	28	10.05	79.33	56730	715		
M3 - 410 Kg/m3 DE CEMENTO	15/04/2015	13/05/2015	28	10.14	80.75	58720	727	735	743
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.16	81.07	60420	745		
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.15	80.91	59260	732		
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.12	80.44	61020	759		
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.00	78.54	58420	744		
	15/04/2015	13/05/2015	28	10.09	79.96	60150	752		

• DISEÑO DE MEZCLAS ÓPTIMO

DISEÑO ÓPTIMO								
FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)	PROM. (Kg/cm ²)
22/04/2015	25/04/2015	3	10.14	80.75	48760	604	599	601
22/04/2015	25/04/2015	3	10.18	81.39	48440	595		
22/04/2015	25/04/2015	3	10.15	80.91	48380	598		
22/04/2015	25/04/2015	3	10.11	80.28	49070	611	603	601
22/04/2015	25/04/2015	3	10.14	80.75	48410	599		
22/04/2015	25/04/2015	3	10.12	80.44	48090	598		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.15	80.91	51790	640	637	637
22/04/2015	29/04/2015	7	10.15	80.91	51260	634		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.19	81.55	51940	637		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.14	80.75	51310	635	637	637
22/04/2015	29/04/2015	7	10.12	80.44	51560	641		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.14	80.75	51350	636		

FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
23/04/2015	21/05/2015	28	10.11	80.28	57680	719	710	711
23/04/2015	21/05/2015	28	10.12	80.44	57120	710		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.15	80.91	56820	702		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.16	81.07	57640	711	713	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.11	80.28	57130	712		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.12	80.44	57720	718		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.18	81.39	57080	701	707	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.17	81.23	57920	713		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.14	80.75	57020	706		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.16	81.07	56810	701	710	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.16	81.07	58160	717		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.18	81.39	57880	711		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.14	80.75	58020	718	713	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.12	80.44	57320	713		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.13	80.60	57060	708		

• DISEÑO DE MEZCLAS CON CENIZAS DE CARBÓN 10%

DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 10%								
FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
22/04/2015	25/04/2015	3	10.16	81.07	40780	503	497	637
22/04/2015	25/04/2015	3	10.14	80.75	39770	492		
22/04/2015	25/04/2015	3	10.14	80.75	39980	495		
22/04/2015	25/04/2015	3	10.15	80.91	40730	503	499	
22/04/2015	25/04/2015	3	10.17	81.23	39910	491		
22/04/2015	25/04/2015	3	10.16	81.07	40780	503		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.16	81.07	48050	593	587	588
22/04/2015	29/04/2015	7	10.15	80.91	47300	585		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.18	81.39	47460	583		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.17	81.23	48090	592	589	
22/04/2015	29/04/2015	7	10.15	80.91	47310	585		
22/04/2015	29/04/2015	7	10.15	80.91	47870	592		

FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
23/04/2015	21/05/2015	28	10.18	81.39	59190	727	728	729
23/04/2015	21/05/2015	28	10.14	80.75	59150	732		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.15	80.91	58690	725		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.17	81.23	59020	727	729	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.16	81.07	59250	731		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.14	80.75	58880	729		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.15	80.91	59230	732	726	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.17	81.23	58540	721		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.15	80.91	58790	727		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.14	80.75	59120	732	730	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.14	80.75	59230	733		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.15	80.91	58590	724		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.17	81.23	59380	731	731	
23/04/2015	21/05/2015	28	10.15	80.91	58930	728		
23/04/2015	21/05/2015	28	10.12	80.44	59110	735		

• **DISEÑO DE MEZCLAS CON CENIZAS DE CARBÓN 15%**

DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 15%							
FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)
24/04/2015	27/04/2015	3	10.13	80.60	38710	480	483
24/04/2015	27/04/2015	3	10.15	80.91	39550	489	
24/04/2015	27/04/2015	3	10.18	81.39	39180	481	
24/04/2015	27/04/2015	3	10.21	81.87	39700	485	484
24/04/2015	27/04/2015	3	10.21	81.87	39830	486	
24/04/2015	27/04/2015	3	10.08	79.80	38250	479	
24/04/2015	01/05/2015	7	10.15	80.91	45220	559	564
24/04/2015	01/05/2015	7	10.16	81.07	46010	568	
24/04/2015	01/05/2015	7	10.20	81.71	46270	566	
24/04/2015	01/05/2015	7	10.17	81.23	45330	558	561
24/04/2015	01/05/2015	7	10.12	80.44	45010	560	
24/04/2015	01/05/2015	7	10.09	79.96	45220	566	
						563	

FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
24/04/2015	22/05/2015	28	10.14	80.75	57720	715	710	707
24/04/2015	22/05/2015	28	10.12	80.44	57300	712		
24/04/2015	22/05/2015	28	10.09	79.96	56240	703		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.14	80.75	56420	699	701	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.10	80.12	56360	703		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.11	80.28	56340	702		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.12	80.44	56980	708	709	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.16	81.07	57420	708		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.18	81.39	57760	710		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.20	81.71	57820	708	707	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.12	80.44	57060	709		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.14	80.75	56870	704		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.12	80.44	57020	709	706	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.17	81.23	57520	708		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.15	80.91	56760	701		

• DISEÑO DE MEZCLAS CON CENIZAS DE CARBÓN 20%

DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 20%								
FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
24/04/2015	27/04/2015	3	10.15	80.91	32420	401	400	398
24/04/2015	27/04/2015	3	10.16	81.07	32550	401		
24/04/2015	27/04/2015	3	10.18	81.39	32480	399		
24/04/2015	27/04/2015	3	10.14	80.75	31430	389	395	
24/04/2015	27/04/2015	3	10.12	80.44	31540	392		
24/04/2015	27/04/2015	3	10.15	80.91	32570	403		
24/04/2015	01/05/2015	7	10.17	81.23	40320	496	490	494
24/04/2015	01/05/2015	7	10.18	81.39	39490	485		
24/04/2015	01/05/2015	7	10.19	81.55	39870	489		
24/04/2015	01/05/2015	7	10.14	80.75	40210	498	498	
24/04/2015	01/05/2015	7	10.16	81.07	40360	498		
24/04/2015	01/05/2015	7	10.15	80.91	40250	497		

FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
25/04/2015	23/05/2015	28	10.18	81.39	52240	642	647	647
25/04/2015	23/05/2015	28	10.13	80.60	52230	648		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.12	80.44	52490	653		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.14	80.75	52920	655	649	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.15	80.91	52760	652		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.09	79.96	51030	638		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.14	80.75	52450	650	645	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.12	80.44	51920	645		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.14	80.75	51670	640		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.15	80.91	52440	648	647	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.18	81.39	52960	651		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.19	81.55	52340	642		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.16	81.07	52420	647	645	
25/04/2015	23/05/2015	28	10.13	80.60	51720	642		
25/04/2015	23/05/2015	28	10.15	80.91	52360	647		

• DISEÑO DE MEZCLAS CON CENIZAS DE CARBÓN 25%

DISEÑO CON CENIZA DE CARBÓN 25%								
FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
27/04/2015	30/04/2015	3	10.16	81.07	24320	300	296	298
27/04/2015	30/04/2015	3	10.15	80.91	23850	295		
27/04/2015	30/04/2015	3	10.19	81.55	23850	292		
27/04/2015	30/04/2015	3	10.14	80.75	24270	301	300	
27/04/2015	30/04/2015	3	10.18	81.39	24260	298		
27/04/2015	30/04/2015	3	10.12	80.44	24350	303		
27/04/2015	04/05/2015	7	10.13	80.60	35300	438	439	438
27/04/2015	04/05/2015	7	10.11	80.28	35610	444		
27/04/2015	04/05/2015	7	10.18	81.39	35420	435		
27/04/2015	04/05/2015	7	10.14	80.75	35290	437	437	
27/04/2015	04/05/2015	7	10.18	81.39	35250	433		
27/04/2015	04/05/2015	7	10.16	81.07	35640	440		

FECHA DE ENSAYO	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA	CARGA MAXIMA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO (Kg/cm2)	PROM. (Kg/cm2)
28/04/2015	26/05/2015	28	10.12	80.44	46330	576	580	577
28/04/2015	26/05/2015	28	10.09	79.96	46430	581		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.08	79.80	46530	583		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.14	80.75	46320	574	573	
28/04/2015	26/05/2015	28	10.17	81.23	46740	575		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.15	80.91	46140	570		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.18	81.39	46620	573	578	
28/04/2015	26/05/2015	28	10.15	80.91	47020	581		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.14	80.75	46820	580		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.00	78.54	45920	585	577	
28/04/2015	26/05/2015	28	10.17	81.23	46230	569		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.12	80.44	46510	578		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.18	81.39	47420	583	579	
28/04/2015	26/05/2015	28	10.09	79.96	45920	574		
28/04/2015	26/05/2015	28	10.11	80.28	46520	579		

2. HOJA TECNICA DE LOS ADITIVOS

2.1. ADITIVO PLASTIMENT TM12 (RETARDANTE DE FRAGUA)



HOJA TÉCNICA Plastiment® TM-12

Retardante de fragua y reductor de agua.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Plastiment® TM-12 es un aditivo plastificante y retardante de fragua, exento de cloruros.

USOS

- Vaciado de concreto en tiempo caluroso.
- Vaciado de concreto en grandes volúmenes.
- Evita juntas frías en faenas continuas.
- Concreto premezclado.
- Transporte de concreto a largas distancias.
- Concreto bombeado.

NORMA

Plastiment® TM-12 cumple con la Norma ASTM C 494 como aditivo tipo D y tipo B.

DATOS BÁSICOS

FORMA

ASPECTO

Líquido

COLORES

Marrón claro a oscuro

PRESENTACIÓN

- Granel x 1 L
- Cilindro x 200 L
- Dispenser x 1,000 L

ALMACENAMIENTO

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

1 año en sitio fresco y bajo techo en su empaque original bien cerrado.

DATOS TÉCNICOS

DENSIDAD

1,17 kg/L \pm 0,02

USGBC VALORACIÓN LEED

Plastiment TM-12 cumple con los requerimientos LEED.
Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.

Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)

INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	<p>CONSUMO / DOSIS</p> <p>Del 0.2% al 0.9% del peso del cemento. Se deben realizar pruebas previas para optimizar la dosis.</p>
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>MODO DE EMPLEO</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diluido en la última parte del agua de amasado. ▪ Si se utiliza otros aditivos se deben de añadir por separado. ▪ Plastiment® TM-12 se puede usar en combinación con otros aditivos como incorporadores de aire tipo SikaAer®, Sikament®, Sika® ViscoCrete® entre otros. <p>IMPORTANTE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y en las condiciones de la obra. ▪ Dosificaciones superiores a las recomendadas pueden ocasionar retardos prolongados del fraguado del concreto, que no afectan la resistencia final. ▪ Plastiment® TM-12 puede presentar un mayor retardo según el tipo de cemento.
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	
PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	<p>Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad.</p> <p>En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.</p>
OBSERVACIONES	<p>La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe</p>
NOTAS LEGALES	<p>La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.</p> <p>Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.</p>

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 4
la misma que deberá ser destruida”**

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS Del 0.2% al 0.9% del peso del cemento. Se deben realizar pruebas previas para optimizar la dosis.
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diluido en la última parte del agua de amasado. ▪ Si se utiliza otros aditivos se deben de añadir por separado. ▪ Plastiment® TM-12 se puede usar en combinación con otros aditivos como incorporadores de aire tipo SikaAer®, Sikament®, Sika® ViscoCrete® entre otros. IMPORTANTE <ul style="list-style-type: none"> ▪ La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y en las condiciones de la obra. ▪ Dosificaciones superiores a las recomendadas pueden ocasionar retardos prolongados del fraguado del concreto, que no afectan la resistencia final. ▪ Plastiment® TM-12 puede presentar un mayor retardo según el tipo de cemento.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
OBSERVACIONES	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe
NOTAS LEGALES	La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe .

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 4
la misma que deberá ser destruida”**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Plastiment® TM-12 :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



2.2. ADITIVO VISCOCRETE 1110 PE (SUPERPLASTIFICANTE)



HOJA TÉCNICA

Sika® ViscoCrete®-1110 PE

Aditivo superplastificante con retardo

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un poderoso superplastificante de tercera generación para concretos y morteros. Ideal para concretos autocompactantes.

USOS

- Es adecuado para la producción de concreto en obra, así como para el concreto pre-mezclado.
- Facilita la extrema reducción de agua, tiene excelentes propiedades con los agregados finos, una óptima cohesión y alto comportamiento autocompactante.
- Se usa para los siguientes tipos de concreto:
 - Concreto autocompactante.
 - Para concretos bajo agua, sistemas tremie. (la relación agua – material cementante debe ser entre 0.30 a 0.45)
 - Concreto para climas cálidos y/o sometidos a trayectos largos o espera antes de su utilización.
 - Concreto de alta reducción de agua (hasta 30%)
 - Concreto de alta resistencia.
 - Inyección de lachada de cementos con alta fluidez.
- La alta reducción de agua y la excelente fluidez tienen una influencia positiva sobre las aplicaciones antes mencionadas.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Sika® ViscoCrete®-1110 PE actúa por diferentes mecanismos. Gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) se obtienen las siguientes propiedades:

- Fuerte reducción de agua y aumenta la cohesión lo que lo hace adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Alta Impermeabilidad.
- Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia).
- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Mejora la plasticidad y disminuye la contracción plástica.
- A dosis altas mantiene el slump por más de dos horas (Hacer pruebas de diseño) Esto puede variar por las condiciones ambientales y el tipo de cemento que use.
- Reduce la carbonatación del concreto.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumenta la durabilidad del concreto. ▪ Reduce la exudación y la segregación. ▪ Aumenta la adherencia entre el concreto y el acero. <p>Sika® ViscoCrete®-1110 PE no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión del acero. Por lo tanto, puede usarse sin restricciones en construcciones de concreto reforzado y pre-tensado.</p>
NORMAS	<p>ESTÁNDARES</p> <p>Cumple con la norma ASTM C-494 Tipo G y ASTM C-1017</p>
DATOS BÁSICOS	
FORMA	<p>COLORES</p> <p>Marro claro a marrón oscuro</p> <p>ASPECTO</p> <p>Líquido</p> <p>PRESENTACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Granel x 1 L. ▪ Cilindro x 200 L.
ALMACENAMIENTO	<p>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</p> <p>12 meses a partir de la fecha de producción, en su envase original y sin abrir, protegido de la luz directa del sol y de las heladas, a temperaturas entre 5 °C y 35 °C.</p>
DATOS TÉCNICOS	<p>DENSIDAD</p> <p>1,06 kg/L ± 0,01</p> <p>USGBC VALORACIÓN LEED</p> <p>Sika® ViscoCrete®-1110 PE cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.</p> <p>Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)</p>
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	<p>CONSUMO / DOSIS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para concretos plásticos suaves: 0,4 % - 1 % del peso del cemento. ▪ Para concretos fluidos y autocompactantes: 1% - 2 % cm³ por kilogramo de cemento.
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>MODOS DE EMPLEO</p> <p>Sika® ViscoCrete®-1110 PE se agrega al agua de amasado o junto con el agua a la mezcladora de concreto. Para un aprovechamiento óptimo de la alta capacidad de reducción de agua, recomendamos un mezclado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo.</p> <p>Para evitar la exudación en el concreto y lograr la consistencia deseada, el agua restante de la mezcla recién se añadirá cuando hayan transcurrido 60 segundos del tiempo de mezclado.</p> <p>Cuando se trabaja con relaciones a/c bajas es recomendable mezclar el concreto de 7 a 10 minutos.</p> <p>El uso de Sika® ViscoCrete®-1110 PE garantiza un concreto de la más alta calidad. Sin embargo, también en el caso del concreto preparado con Sika® ViscoCrete®-1110 PE debe cumplirse con las normas estándar para la buena producción y colocación de concretos.</p> <p>El concreto fresco debe ser curado apropiadamente con Sika® Antisol® S.</p>

IMPORTANTE	<p>PARA CONCRETOS FLUIDOS Y CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES.</p> <p>Sika® ViscoCrete®-1110 PE también puede usarse para concretos fluidos y autocompactantes mediante la utilización de dosificaciones especiales de mezclado.</p> <p>Cuando el Sika® ViscoCrete®-1110 PE está Congelado.</p> <p>Descongelarlo lentamente a temperatura ambiente y mezclarlo en forma intensiva.</p> <p>COMBINACIONES.</p> <p>Sika® ViscoCrete®-1110 PE puede combinarse con los siguientes productos Sika: Sika® - 1, Sika® CNI, Sika® Fume y SikaAer®, entre otros.</p> <p>Se recomienda realizar un ensayo previo si se realizan combinaciones de varios de los productos antes mencionados. Favor consultar a nuestro servicio técnico.</p>
PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	<p>Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.</p>
ECOLOGÍA	<p>No desechar en vías acuáticas ni en el suelo. Cumplir las normas locales al respecto.</p>
TOXICIDAD	<p>No tóxico según los códigos suizos vigentes sobre salud y seguridad.</p>
NOTAS LEGALES	<p>La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.</p> <p>Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.</p>

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 3
la misma que deberá ser destruida”**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® ViscoCrete®-1110 PE :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



3. IFORME DE ENSAYO FISICO – QUIMICO DEL AGUA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES
Unidad de Producción de Bienes y Prestación de Servicios
Laboratorio SERVILAB



INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICO

N° DE REPORTE: 14654-15

NOMBRE DEL CLIENTE	: CONCRETOS SUPERMIX S.A.
DIRECCIÓN	: Av. DIEZ CANSECO 525 AREQUIPA
ASUNTO	: ANALISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO	: AGUA
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN	: AREQUIPA, 2015-02-20
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES	: BOTELLA DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS	: AREQUIPA, 2015-02-25
REFERENCIA	: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: AGUA PLANTA GLORIA
OBRA	
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRA	: 19113

- LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
- ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO SERVILAB

PAGINA 1 DE 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES
Unidad de Producción de Bienes y Prestación de Servicios
Laboratorio SERVILAB



INFORME DE ENSAYO

N° DE REPORTE: 14654-15

DETERMINACIÓN DE:					
Cloruros	mg/L	79.35			
Sulfatos	mg/L	91.40			
Sólidos Totales	mg/L	529.00			
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	124.32			
OBSERVACIONES:					

METODO DE ENSAYO	
DETERMINACIÓN	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA / NOMBRE
Cloruros	Método Mercurimétrico (1,2) 33.067 de la AOAC
Sulfatos	Método Turbidimétrico (1,2) 33.120 de la AOAC
Sólidos Totales	Método Gravimétrico
Alcalinidad Total	Método Volumétrico

PAGINA 2 DE 2

Emilito en Arequipa (Perú), el 25 de Febrero del 2015

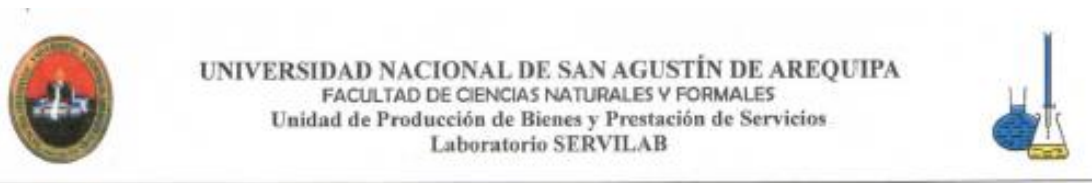

MSc. Adriana Larrea Valdivia
Jefe de Laboratorio
RCQP - 479




Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable
RCQP - 842

4. ENSAYO FISICO QUIMICO DE LOS AGREGADOS

4.1. ENSAYO FISICO QUIMICO DEL AGREGADO FINO



INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICO

N° DE REPORTE: 14668-15

NOMBRE DEL CLIENTE	: CONCRETOS SUPERMIX S. A.
DIRECCIÓN	: AV. GENERAL DIEZ CANSECO 527 AREQUIPA
ASUNTO	: ANALISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO	: ARENA
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN	: AREQUIPA, 2015-02-20
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES	: BOLSA DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS	: AREQUIPA, 2015-02-26
REFERENCIA	: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: CANTERA LA PODEROSA
OBRA	
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRA	: 19118

- LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANALISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
- ESTE FORMATO NO SERA REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO SERVILAB

PAGINA 1 DE 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES
Unidad de Producción de Bienes y Prestación de Servicios
Laboratorio SERVILAB



INFORME DE ENSAYO

N° DE REPORTE: 14668-15

DETERMINACIÓN DE:					
Cloruros	mg/1000 g	21,53			
Sulfatos	mg/1000 g	110,40			
OBSERVACIONES:					

METODO DE ENSAYO	
DETERMINACIÓN	METODO DE ENSAYO APLICADO
	NORMA /REFERENCIA / NOMBRE
Cloruros	Método Mercurimétrico (1,2) 33.067 de la AOAC
Sulfatos	Método Turbidimétrico (1,2) 33.120 de la AOAC

Emitido en Arequipa (Perú), el 26 de Febrero del 2015

PAGINA 1 DE 2


p MSc. Adriana Larrea Valdivia
Jefe de Laboratorio
RCQP - 479




Lic. Fredy Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

4.2. IMPUREZAS ORGANICAS DEL AGREGADO FINO



RCF SRL
ASESORIA Y CONSULTORIA EN OBRAS CIVILES

ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO - ASESORIA Y
CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

Calle Palomares 107 Lote B-39 - Cercado / Teléf. 214163 / RPM: 653013 / Gols. RPM: 343758 / RPC: 956781756 / spc_laboratorio@hotmail.com

INFORME DE ENSAYO

IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO

MTC E 213-2000

CODIGO DE INFORME

AM 055 / MS / 02-2015/ RCF

Página : 1 de 1

F. Emisión: 26/02/2015

OBRA : CONTROL DE CALIDAD

LOCALIZACION : AREQUIPA

MATERIAL : ARENA

CANTERA : LA PODEROSA

SOLICITA : CONCRETOS SUPERMIX S.A.

RESULTADO: ANÁLISIS POR EL PROCEDIMIENTO STANDAR

Al final del periodo de reposo, se comparó el color del liquido que sobrenada con el vidrio patrón y al color del liquido de la muestra fue de color más claro que el de referencia del color patrón.

Se concluye que la muestra NO contiene Impurezas Orgánicas.

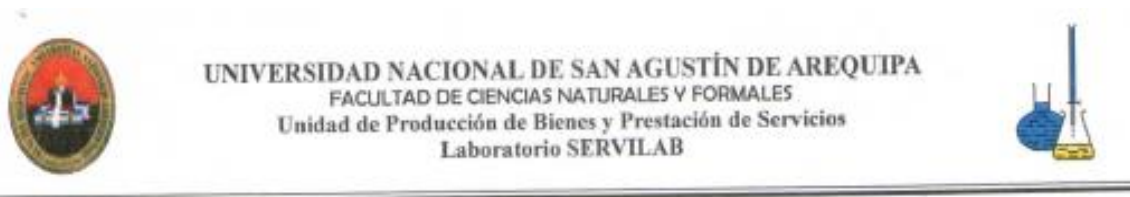
Como referencia según el método alternativo, se ha realizado el ensayo de impurezas orgánicas, en la muestra dada comparando con una placa orgánica de colores; el color de la muestra de arena equivale al color de la placa orgánica N°1.

NOTA: El material fue depositado en el laboratorio e identificado por el solicitante.



ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP 50676

4.3. ENSAYO FISICO QUIMICO DEL AGREGADO GRUESO



INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICO

N° DE REPORTE: 14667-15

NOMBRE DEL CLIENTE	: CONCRETOS SUPERMIX S. A.
DIRECCIÓN	: AV. GENERAL DIEZ CANSECO 527 AREQUIPA
ASUNTO	: ANALISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO	: PIEDRA HUSO 67
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN	: AREQUIPA, 2015-02-20
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES	: BOLSA DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS	: AREQUIPA, 2015-02-26
REFERENCIA	: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: CANTERA LA PODEROSA
OBRA	
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRA	: 19117

- LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
- ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO SERVILAB

PAGINA 1 DE 2



N° DE REPORTE: 14667-15

OBSERVACIONESPACNA 2DE2

Emitido en Arequipa (Perú), el 26 de Febrero del 2015


Lc. Fredy Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

5. CERTIFICADO DE CALIDAD DE CEMENTO PORTLAND TIPO I



CEMENTO PORTLAND TIPO I

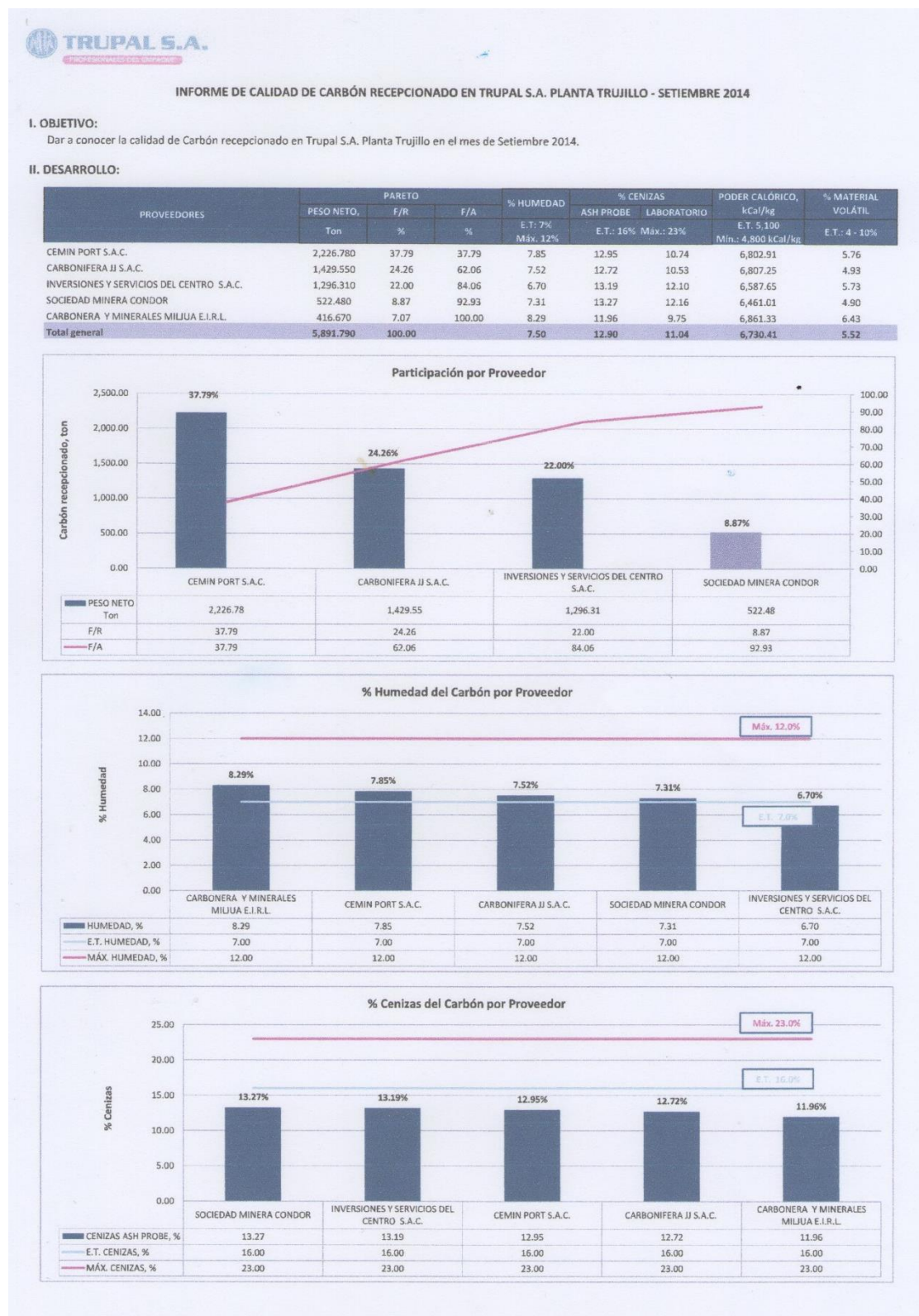
	YURA	ASTM C150 NTP 304.009
REQUERIMIENTOS QUÍMICOS:		
Óxido de Silicio, SiO_2 , %	22.05	No Especifica
Óxidos de Aluminio, Al_2O_3 , %	3.68	No Especifica
Óxido Ferrico, Fe_2O_3 , %	0.32	No Especifica
Óxido de Calcio, CaO , %	61.58	No Especifica
Óxido de Magnesio, MgO , %	3.03	6.00 Máximo
Tríóxido de Azufre, SO_3 , %	2.28	3.00 Máximo
Pérdida por Ignición o al Fuego, P.F. %	0.98	3.00 Máximo
Residuo Insoluble, R.I. %	0.72	0.75 Máximo
REQUERIMIENTOS FÍSICOS:		
Peso Específico (g/cm ³)	3.14	No Especifica
Fineza (Superficie Específica - Blaine), cm ² /g	3482	2600 Mínimo
Fineza (Retenido malla N° 325 (45 µm)), %	11.7	No Especifica
Expansión en Autoclave, %	0.08	0.80 Máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo de Vicat, minutos		
Tiempo de Fraguado (Inicial)	144	45 Mínimo
Tiempo de Fraguado (Final)	176	375 Máximo
Contenido de Aire del mortero, %	6.08	12.00 Máximo
Resistencia a la Compresión, MPa, (kgf/cm ²)		Mínimo :
01 día	16.36 (1637)	No Especifica -
03 días	29.17 (290)	12 (122.00)
07 días	35.89 (356)	19 (190.75)
28 días	Pendiente	No Especifica -

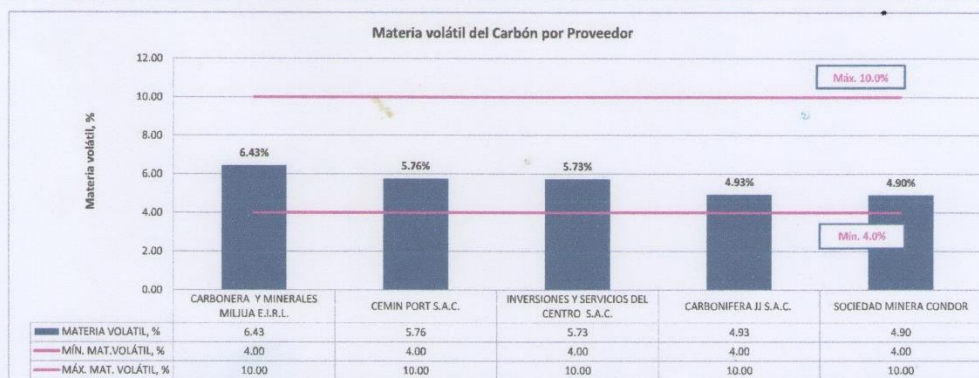
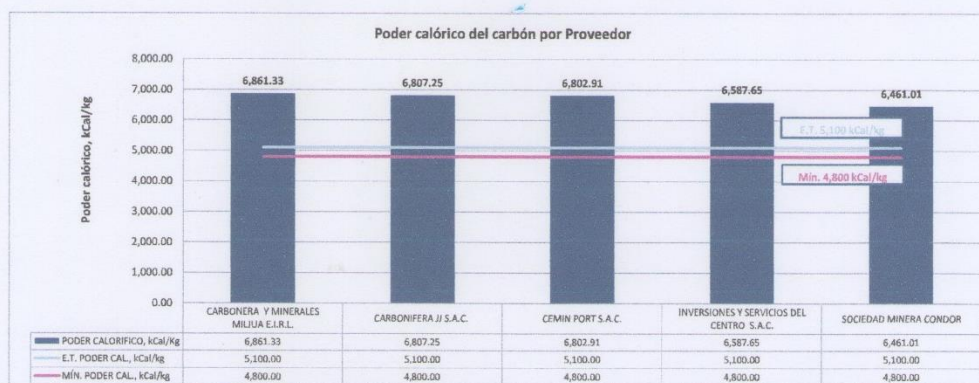
Este Documento muestra Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción, confirmando que este cemento cumple con las especificaciones de las normas NTP 304.009 y ASTM C-150

Arequipa, 03 de Marzo 2015


Gonzalo Álvarez Cárdenas
Jefe de Control de Calidad
Yura S.A.

6. INFORME DE CALIDAD DE CARBÓN – TRUPAL S.A.





Nota: Los valores promedio fueron ponderados con los ingresos de carbón proporcionados por Balanza de Fibra Secundaria.

RECHAZOS DE UNIDADES DE CARBÓN

FECHA DE INGRESO	19/09/2014	Nº DE PLACA	C4P-707/C2G-972	PESO INGRESO, ton	70.800
PROVEEDOR	CEMIN PORT S.A.C.	PROCEDENCIA	MINA ESTHER (ANCASH)	HORA DE INGRESO	12:08
N GUÍA DE REMISIÓN	001-794	MOTIVO DE RECHAZO	Humedad alta: 12.8%	HORA DE SALIDA	12:19

III. CONCLUSIONES:

En el mes de Setiembre 2014:

- 1.- El total de Carbón recepcionado en Trupal S.A. Planta Trujillo fue de 5,891.790 ton.
- 2.- Según Pareto los principales Proveedores de Carbón fueron: Cemin Port S.A.C. con 37.79%, Carbonifera JJ S.A.C. con 24.26% e Inversiones y Servicios del Centro S.A.C. con 22.00%.
- 3.- El carbón de todos los proveedores cumplió con las especificaciones de Humedad, Cenizas, Poder calórico y Materia volátil para su recepción en Planta.
- 4.- El carbón con mejor desempeño en Poder calórico fue de Carbonera y Minerales Miljua E.I.R.L. con 6,861.33 kcal/kg y el de menor desempeño fue Sociedad Minera Córdor con 6,461.01 kcal/kg.
- 5.- Se rechazó una unidad de carbón (70.800 ton) del Proveedor Cemin Port S.A.C. por contener carbón con humedad alta fuera de especificación.



CARTA LAB – CC-101-2015

Señores:

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente

Carrera: Ingeniería Civil

Presente.-

Se informa mediante la presente que el señor Fernando De La Cruz Mendoza con DNI: 46890195, realizo la tesis **“OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO PARA F'C 550KG/CM2, UTILIZANDO CENIZAS DE CARBON Y ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTE Y RETARDANTE DE FRAGUA”**, en los laboratorios de nuestras instalaciones, iniciada el **30 de Marzo** y concluida el **13 de Junio** del año 2015, con lo cual se acreditan todos los ensayos realizados y la veracidad de los resultados obtenidos en los mismos.


ING. CARLOS GUERRA CISNEROS
VERIFICACIÓN CONTROL DE CALIDAD
CIP: 55171

PANEL FOTOGRAFICO



Figura 8 Propiedades Físicas de los Agregados



Figura 9 Peso Unitario Global de los Agregados



Figura 10 Mezcla de Concreto Convencional



Figura 11 Slump de Diseño Óptimo



Figura 12 Especímenes a Ensayar a la Resistencia a Compresión, muestreo típico en los días que se realizó mezclas de concreto.



Figura 13 Ceniza de Carbón Utilizada en el Estudio



Figura 14 Muestreo de Vigas que serán sometidas al Ensayo de Flexión



Figura 15 Equipo para el Ensayo de Tiempo de Fraguado



Figura 16 Ensayo de Tiempo de Fraguado



Figura 17 Viga antes del Ensayo de Flexión



Figura 18 Viga sometida después del Ensayo de Flexión



Figura 19 Ensayo de Resistencia a la Compresión



Figura 20 Ensayo de Contracción del Concreto



Figura 21 Posa de Curado con temperatura controlada